

## UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

BORANG PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN

TAJUK PROJEK : Development of Rapid Monitoring System  
For the National Geodetic Vertical Datum  
(NGVD).

Saya Prof. Madya. Kamaludin Mohd. Omar  
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan **Laporan Akhir Penyelidikan** ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. \* Sila tandakan ( / )

☐

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).

☐

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).

☒TIDAK  
TERHAD

KAMALUDDIN BIN HJ OMAR  
Ketua Makmal Geodesi dan Astronomi  
Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia  
81310, UTM Skudai



TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK

Prof. Madya. Kamaludin Mohd. Omar  
Nama & Cop Ketua Penyelidik

Tarikh : 07 Oktober 2005.

**CATATAN :** \* Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

**DEVELOPMENT OF RAPID MONITORING SYSTEM FOR THE  
NATIONAL GEODETIC VERTICAL DATUM (NGVD)**

**ASSOC.PROF.KAMALUDIN MOHD.OMAR  
ASSOC.PROF. Dr. SHAHRUM SES  
Dr. AZHARI MOHAMED**

**FACULTY OF GEOINFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING  
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA  
81310 UTM SKUDAI JOHOR**

**SEPTEMBER 2005**

## ABSTRACT

Global Positioning System (GPS) technology was introduced in Malaysia in early 90s has changed the scenario of survey profession rapidly. The current GPS infrastructure in Malaysia is mainly served as a ground control station for mapping and cadastral survey purposes. Precise height determination with GPS, needs a precise geoid model that can gives the geoid separation (N) at any location. With the airborne gravity survey conducted by Department of Survey and Mapping Malaysia (DSMM) being completed, the precise geoid will be widely used by the survey and mapping community for height determination compare to the conventional levelling . This study mainly focus on the theory of geoid fitting between gravimetric geoid and National Geodetic Vertical Datum (NGVD) that can produced the local precise geoid at the level of sub-centimeter . Analysis of the results has produced the working procedures for GPS Levelling with accuracy better than the conventional second order levelling. The results also shown that GPS Levelling can be used as a tools to monitor the current status of Bench Mark and establishing new levelling routes.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>JUDUL</b>	
	<b>ABSTRAK</b>	ii
	<b>ABSTRACT</b>	iii
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	iv
	<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xiii
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xiv
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xv
<b>BAB 1</b>	<b><u>PENDAHULUAN</u></b>	<b>1</b>
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan Masalah	2
	1.3 Objektif Kajian	3
	1.4 Skop Kajian	3
	1.5 Kepentingan Dan Sumbangan	4
	1.6 Metodologi	
	1.6.1 Kajian Litaratur	5
	1.6.2 Kawasan Kajian	5
	1.6.3 Perolehan Data	5
	1.6.4 Pemprosesan Data	5
	1.6.5 Proses Penghitungan	6
	1.6.6 Analisis	8
	1.7 Kajian Literatur	8
<b>BAB 2</b>	<b><u>SISTEM PENENTUDUKAN SEJAGAT</u></b>	
	<b><u>(GPS)</u></b>	<b>10</b>
	2.1 Pengenalan	10



2.2	Gugusan Satelit GPS	10
2.3	Isyarat Satelit GPS	11
2.4	Konsep Penentududukan GPS	12
2.4.1	Pengukuran Julat Semu	13
2.4.2	Pengukuran Fasa Pembawa	14
2.5	Faktor Bias Dan Selisih	15
2.6	Teknik Cerapan Pembezaan	15
2.6.1	Cerapan Pembezaan Tunggal	16
2.6.2	Cerapan Pembezaan Ganda-dua	17
2.6.3	Cerapan Pembezaan Ganda-tiga	17
2.7	Prinsip Pemprosesan Data GPS	18
2.7.1	Pemprosesan Data Kod	19
2.7.2	Pemprosesan Ganda-tiga	20
2.7.3	Ganda-dua <i>Wide Lane</i>	20
2.7.4	Ganda-dua <i>Narrow Lane</i>	20
2.7.5	Ganda-dua L3	20
2.8	Sistem Rujukan Global	21
<b>BAB 3</b>	<b><u>SISTEM PENENTUAN KETINGGIAN GPS</u></b>	<b>22</b>
3.1	Pengenalan	22
3.2	Jenis Ketinggian	23
3.2.1	Ketinggian Ortometrik	23
3.2.2	Ketinggian Normal	23
3.2.3	Ketinggian Dinamik	24
3.2.4	Ketinggian Elipsoid	25
3.2.5	Ketinggian Geoid	25
3.3	Hubungan Antara H, h dan N	25
3.4	Kaedah Penentuan Ketinggian Geoid	27
3.4.1	Ketinggian Geoid Global	27
3.4.2	Ketinggian Geoid Gravimetrik	29
3.4.3	Ketinggian Geoid Geometrik	31
3.5	Konsep Geoid Kesepadanan	31
3.6	Penentuan Ketinggian Ortometrik Dari GPS	34

3.6.1	Ketinggian Geoid Relatif	34
3.6.2	Ketinggian Geoid Mutlak	35
<b>BAB 4</b>	<b><u>PENGUMPULAN, PEMROSESAN DAN PELARASAN DATA GPS</u></b>	<b>36</b>
4.1	Pengenalan	36
4.2	Set Data Pertama	37
4.2.1	Projek Cerapan GPS Tanda Aras Jarak Jauh (Set Data IA)	38
4.2.2	Projek Cerapan GPS Tanda Aras Negeri Johor (Set Data IB)	41
4.3	Set Data Kedua	44
4.3.1	Pengenalan	44
4.3.2	Penyediaan Data	44
4.3.3	Pemprosesan Data	46
4.3.3.1	Pembinaan Projek	46
4.3.3.2	Pra-Pemprosesan	48
4.3.3.3	Pemprosesan	49
4.3.3.4	Pelarasan Jaringan	50
<b>BAB 5</b>	<b><u>PENGHITUNGAN KETINGGIAN DAN ANALISA</u></b>	<b>55</b>
5.1	Pengenalan	55
5.2	Model Geoid	55
5.2.1	Model WMG03A	56

5.3	Penghasilan Dan Pengujian Model	
	Kesepadanan Geoid Dengan Set Data I	58
5.3.1	Pra-Penghitungan Model Geoid	
	Kesepadanan	59
5.3.2	Proses Hitungan Iteratif	61
5.3.3	Model Kesepadanan WMG03A-F	62
5.3.4	Analisis Dan Ulasan Model	
	Kesepadanan WMG03A-F	64
5.3.5	Model Kesepadanan WMG03A-F	
	Muktamad	67
5.3.6	Pengujian Model WMG03A-F	
	Dengan Set Data II	68
5.4	Penentuan Ketinggian Secara Relatif	71
5.4.1	Perbandingan Kejituan Relatif	
	Ukuran Aras dan Analisis	76
5.4.2	Ujian Kejituan Relatif Ke atas Data	
	Set II	77
<b>BAB 6</b>	<b><u>ANALISIS</u></b>	<b>80</b>
6.1	Pengenalan	80
6.2	Analisis Kualiti Hasil Pemprosesan Data	
	GPS	81
6.3	Analisis Kualiti Model Geoid Kesepadanan	82
6.4	Analisis Penentuan Kejituan Relatif	83
6.5	Pengujian Model Geoid Kesepadanan	84
6.6	Pengujian Secara Relatif	85
6.7	Perbandingan Penentuan Ketinggian Antara	
	Dua Kaedah	85
<b>BAB 7</b>	<b><u>KESIMPULAN DAN CADANGAN</u></b>	<b>87</b>
7.1	Kesimpulan	87

7.2	Cadangan	88
7.2.1	Model Geoid Kesepadanan	88
7.2.2	Teknik Cerapan GPS	89
<b>BIBLIOGRAFI</b>		90
<b>LAMPIRAN A – B</b>		92 - 97

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	HALAMAN
1.1	Parameter Elipsoid	21
4.1	Pecahan Stesen Cerapan Set Data I-A	38
4.2	Statistik Pelarasan Projek Jarak Jauh	39
4.3	Selisih Elip dan Vertikal Set Data I-A	39
4.4	Selisih Elip Relatif dan Vertikal Set Data I-A	40
4.5	Pecahan Stesen Cerapan Set Data I-B	41
4.6	Statistik Pelarasan Set Data I-B	42
4.7	Selisih Elip dan Vertikal Set Data I-B	42
4.8	Selisih Elip dan Vertikal Set Data I-B	44
4.9	Maklumat Set Data II	46
4.10	Maklumat Set Data II	47
4.11	Parameter Pemprosesan Data GPS	50
4.12	Statistik Pelarasan Kekangan Minimum	51
4.13	Statistik Pelarasan Kekangan Penuh	52
4.14	Selisih Elip dan Vertikal Set Data II	53
4.15	Selisih Elip Relatif dan Vertikal Set Data II	54
5.1	Statistik Pra-Kesepadanan $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}}$	60
5.2	Statistik Kesepadanan $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}} - 1$	61
5.3	Perbandingan $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}}$ bagi C1576, C0834 & C0845	62
5.4	Statistik Kesepadanan $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}} - 6$	62

5.5	Statistik Kesepadanan $N_{\text{fitted}}$	64
5.6	Statistik Untuk Tanda Aras Semakan	65
5.7	Statistik Kesepadanan Muktamad	67
5.8	Statistik Untuk Kiraan Aras & Model Kesepadanan	69
5.9	Statistik Hasil Pelarasan	74
5.10	Statistik Ukuran Aras GPS (J3136)	78
6.1	Pecahan Tanda Aras Melebihi $2\sigma$	84

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1	Carta Alir Metodologi Kajian	7
2.1	Gugusan Satelit GPS	11
2.2	Konsep <i>Surface-of-Sphere</i>	13
2.3	Teknik Cerapan Pembezaan Tunggal	16
2.4	Teknik Cerapan Pembezaan Tunggal	16
2.5	Teknik Cerapan Pembezaan Ganda-dua	17
2.6	Teknik Cerapan Pembezaan Ganda-tiga	18
2.7	Carta Alir Pemprosesan Data GPS	19
3.1	Hubungan Geoid dan Elipsoid	26
3.2	Hubungan H, h dan N	27
3.3	Bias Datum	32
4.1	Taburan Stesen Set Data Pertama	38
4.2	Selisih Elip Set Data I-A	40
4.3	Selisih Vertikal Set Data I-A	40
4.4	Selisih Elip Set Data I-B	42
4.5	Selisih Elip Set Data I-B	43
4.6	Selisih Vertikal Set Data I-B	43
4.7	Taburan Stesen Set Data II	45
4.8	Contoh Plotan TimeLine	49
4.9	Selisih Elip dan Vertikal	51
4.10	Selisih Elip dan Vertikal	53
4.11	Selisih Elip Set Data II	53
4.12	Selisih Vertikal Set Data II	54
5.1	Model Geoid Jitu Sem. Malaysia	57

5.2	Taburan Tanda Aras Kesepadanan & Semakan	58
5.3	Plotan Pembetulan Di antara $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}} (\epsilon)$	59
5.4	Plotan Pembetulan Di antara $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}} (\epsilon)$ – Iterasi 2	61
5.5	Plotan Pembetulan Di antara $N_{\text{grav}}$ dan $N_{\text{gps}} (\epsilon)$ – Iterasi 6	63
5.6	Geoid WMG03A-F Muktamad	67
5.7	Plotan Taburan Tanda Aras Dengan Nilai ALM	68
5.8	Plotan Taburan Tanda Aras Melempi Nilai $2\sigma$	71
5.9	Plotan Garisan Kesepadanan	76
5.10	Plotan Nilai Tutupan Dibenarkan	77
5.11	Plotan Tikaian Aras Berbanding Tikaian Dibenarkan	79



**SENARAI SINGKATAN**

ALM	-	Aras Laut Min
CCS	-	Coordinated Cadastral System
EGM	-	Earth Geopotential Model
GDM	-	Geocentric Datum for Malaysia
Geo	-	Geometrik
GPS	-	Global Positioning System
Grav	-	Graviti
MASS	-	Malaysia Active GPS System
NGVD	-	National Geodetic Vertical Datum
ppm	-	Part Per Million
RMS	-	Root Mean Square
SSS	-	Sea Surface Slope
SST	-	Sea Surface Topography
TGO	-	Trimble's Geomatic Office
WAVE	-	Weighted Ambiguity Vector Estimator
UTM	-	Universiti Teknologi Malaysia

**SENARAI SIMBOL**

$\varepsilon$	-	Bias Datum
$\sigma$	-	Sisihan Piawai
$\delta$	-	Delta Ketinggian
$N$	-	Pisahan Geoid
$h$	-	Ketinggian Ellipsoid
$H$	-	Ketinggian Ortometrik
$H^*$	-	Ketinggian Normal
$H_{\text{dym}}$	-	Ketinggian Dinamik
$L1$	-	Gelombang L1
$L2$	-	Gelombang L2

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A-1	Senarai Koordinat dan Ketinggian Laut Projek Cerapan Tanda Aras (Set Data I-A dan I-B)	92
A-2	Senarai Koordinat dan Ketinggian Laut Projek Cerapan Tanda Aras Negeri Johor 2003	94
B-1	Senarai Garis Dasar Set Data I-A dan I-B Bagi Penentuan Kejituan Relatif	96

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 PENGENALAN**

Teknologi Global Positioning System (GPS) yang mula diperkenalkan di Malaysia pada awal 90an, telah merubah senario profesion ukur dan pemetaan di negara ini. Dengan penubuhan sistem jaringan GPS yang dikenali dengan nama Rangkaian Geodetik Saintifik Semenanjung Malaysia pada 1993, *Coordinated Cadastral System (CCS)*, *Malaysia Active GPS System (MASS)*, *Coordinated Cadastral System II (CCS II)*, dan yang terkini *Geocentric Datum for Malaysia (GDM)*, pengguna-pengguna teknologi ini telah berkembang pesat dengan memanfaatkan kemudahan infrastruktur yang telah disediakan.

Projek-projek infrastruktur yang dinyatakan di atas, pada asasnya adalah untuk menjadi sistem rujukan bagi kerja-kerja yang melibatkan kawalan mendatar, iaitu bagi kerja-kerja pemetaan mahupun kerja-kerja kadaster. Bagi kerja-kerja yang melibatkan penentuan ketinggian, penggunaan teknologi GPS adalah terbatas di mana ketinggian yang dihasilkan oleh teknologi ini adalah merujuk kepada permukaan matematik iaitu permukaan ellipsoid. Bagi mendapatkan ketinggian yang merujuk kepada permukaan geoid ataupun ketinggian ortometrik, kaedah ukuran aras konvensional seperti ukuran aras jitu boleh menghasilkan kejituan yang tinggi dan ianya menjadi pilihan kepada komuniti ukur dan pemetaan untuk mendapatkan nilai ketinggian bagi satu-satu lokasi.

Bagi membolehkan penggunaan teknologi GPS di dalam penentuan ketinggian, maka satu elemen penting yang diperlukan adalah model geoid yang dapat memberikan nilai pisahan geoid (N) bagi satu-satu tempat. Buat masa ini beberapa model geoid yang boleh di gunakan adalah model global yang dihasilkan oleh Ohio State University OSU91A dan dari National Imagery Agency (NIMA) EGM96. Kejituan model-model ini adalah di dalam lingkungan 50 cm (relatif) dan ini tidak dapat memenuhi kehendak kerja-kerja yang memerlukan kejituan yang lebih tinggi.

Untuk memenuhi kehendak semasa dan juga memaksimumkan penggunaan teknologi GPS, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) telah menjalankan projek *Airborne Gravity Survey* bagi menghasilkan model geoid graviti bagi Semenanjung, Sabah dan Sarawak. Model ini adalah lebih jitu iaitu pada tahap kurang dari 10 cm dan ini akan melengkapkan prasarana penggunaan teknologi GPS di dalam sistem penentuan ketinggian.

## 1.2 PENYATAAN MASALAH

Sistem penentuan ketinggian dengan menggunakan kaedah GPS dan model geoid telah lama digunakan tetapi belum mencapai tahap ketepatan yang sama dengan kaedah penentuan ketinggian dengan menggunakan ukuran aras jitu atau kelas kedua. Faktor yang menyebabkan ketepatan yang diperolehi dengan kaedah ini rendah jika dibandingkan dengan kaedah konvensional adalah disebabkan penggunaan model geoid global yang mempunyai kejituan 0.3 m – 2 m (Forsberg, 2002) seperti model EGM96.

Kajian yang akan dilakukan ini akan melihat kejituan dan ketepatan penentuan ketinggian dengan menggunakan kaedah GPS yang akan diperolehi dengan kehadiran model geoid jitu Semenanjung Malaysia. Ketepatan penentuan ketinggian elipsoid yang boleh dihasilkan dengan menggunakan GPS boleh mencecah kepada kejituan ke tahap milimeter, 5 - 10 cm bagi model geoid yang di hasilkan dari cerapan graviti,

DEM dan satelit, dan di antara 1-2 cm jika model geoid menggunakan kesepadanan dengan GPS di atas batu aras (Forsberg, 2002). Dengan kejituan data-data input yang tinggi, maka kejituan yang dijangka dicapai dengan menggunakan teknik ukuran aras GPS secara absolut atau relatif juga akan menghasilkan kejituan yang tinggi.

Permasalahan seterusnya, sama ada dengan kejituan yang akan diperolehi boleh menggantikan sepenuhnya ukuran aras konvensional seperti ukuran aras jitu dan ukuran aras kelas kedua. Kajian ini akan melihat secara terperinci kaedah-kaedah cerapan, pemprosesan data dan penghitungan dalam mencapai kejituan yang diperlukan.

### 1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif kajian ini adalah meliputi kajian tentang "Kesepadanan Geoid Graviti Malaysia dengan Datum Pukak Geodesi Kebangsaan (*National Geodetic Vertical Datum*) NGVD", di mana ianya akan melibatkan kajian tentang konsep kesepadanan geoid (*Geoid Fitting*) dan kejituan yang akan terhasil darinya.

Selain dari itu kajian juga meliputi pembentukan sistem pemantauan dan penggantian Tanda Aras (*Bench Mark*) . Pembentukan sistem pemantauan dan penggantian ini telah mengambil kira prosedur kerja ukur aras GPS, di mana ianya mengandungi tatacara penentuan ketinggian sebagai alternatif daripada pengukuran aras jitu dan kelas kedua.

### 1.4 SKOP KAJIAN

Skop kajian ini adalah meliputi perkara-perkara berikut:-

- a) Teori dan konsep pemprosesan data GPS:

- i. Pengumpulan dan pemrosesan data-data GPS yang baru dengan menggunakan perisian Trimble Geomatic Office (TGO).
  - ii. Pelarasan semula ke atas rangkaian GPS di atas tanda aras sedia ada juga telah dilakukan. Pelarasan jaringan garis dasar GPS telah menggunakan perisian Geolab Ver. 2.4c dan di dalam pelarasan ini penekanan ke atas strategi pemberat (weighting strategy) dan stesen-stesen rujukan yang digunakan. Analisis ke atas hasil pelarasan jaringan GPS telah dilakukan bagi menilai hasil pemrosesan dan pelarasan menepati spesifikasi yang diperlukan.
- b) Teori dan konsep pengukuran aras GPS, penghasilan dan penghitungan model geoid:
- i. Pemahaman tentang konsep penghasilan model geoid graviti dan model geoid kesepadanan (fitted geoid model).
  - ii. Penghasilan model geoid kesepadanan di antara model geoid graviti dan NGVD bagi kawasan kajian.
  - iii. Pengiraan nilai aras GPS secara absolut dan relatif. Analisis hasil dari penentuan ketinggian dengan kaedah ukuran aras GPS dan geoid jitu Semenanjung Malaysia.

## 1.5 KEPENTINGAN DAN SUMBANGAN KAJIAN

Kajian ini dilakukan adalah bertujuan untuk membentuk satu sistem pemantauan tanda-tanda aras sama ada ianya mendap, teralih atau terdapat kesalahan di dalam pengukuran dengan menggunakan teknologi GPS. Di samping itu kajian ini juga diharap dapat menyumbang kepada:-

- a) Penghasilan satu kaedah semakan status tanda aras dengan cepat, murah dan efisien.

- b) Membentuk prosedur kerja ukur Aras GPS sebagai alternatif kepada pengukuran Aras Kelas I dan II.

## **1.6 METODOLOGI KAJIAN**

Untuk mencapai objektif-objektif yang telah dinyatakan di atas, metodologi kajian yang dijalankan telah dibahagikan kepada beberapa fasa seperti di Rajah 1.1.

### **1.6.1 Kajian Literatur**

Kajian literatur telah dijalankan bagi pemahaman secara teori, konsep asas dan pelbagai strategi penghasilan model geoid dan juga pemprosesan data-data GPS. Pada peringkat ini juga, penggunaan perisian pemprosesan data GPS TGO (Trimble Geomatic Office) telah dilakukan.

### **1.6.2 Kawasan Kajian**

Kawasan kajian adalah merupakan kawasan yang telah dilakukan cerapan GPS di atas tanda aras dan juga kawasan yang di dalam perancangan JUPEM. Kajian ini telah menggunakan dua set data cerapan iaitu bagi Negeri Johor dan juga pelarasan semula rangkaian GPS tanda aras sedia ada bagi negeri-negeri di bawah latitud 4°.



### **1.6.3 Perolehan Data**

Data-data GPS bagi cerapan di atas tanda aras adalah merupakan data-data mentah yang belum diproses, sementara model geoid yang digunakan adalah merupakan model geoid graviti dan juga model geoid yang telah dibuat kesepadanan dengan NGVD (National Geodetic Vertical Datum). Untuk pelarasan semula, data-data adalah dalam bentuk INPUT untuk perisian Geolab.

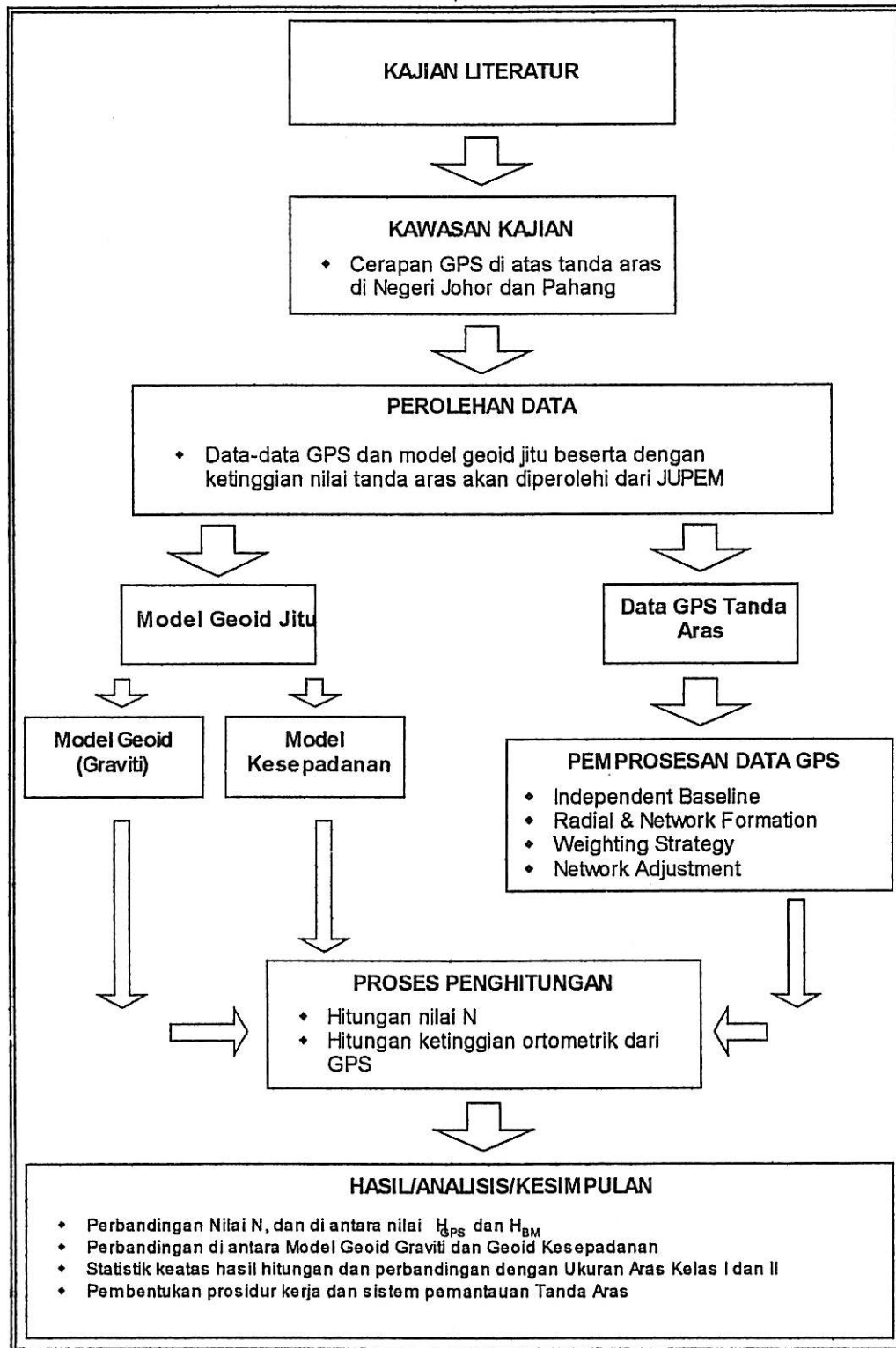
### **1.6.4 Pemprosesan Data**

Pemprosesan data-data GPS telah menggunakan perisian TGO dengan pelbagai strategi telah dilakukan bagi penghasilan keputusan terbaik. Di antara strategi yang akan digunakan adalah:-

- a) Pemprosesan dengan pelbagai tempoh masa cerapan. Ini akan dapat memberi petunjuk bagi masa cerapan minimum yang diperlukan berbanding jarak garis dasar.
- b) Menjalankan pelarasan jaringan dengan menggunakan kaedah kekangan minimum (Minimally constraint) dan juga kekangan penuh (Over constraint).

### **1.6.5 Proses Penghitungan**

Proses penghitungan telah melibatkan hitungan nilai-nilai pisahan geoid  $N$  dengan menggunakan model geoid graviti dan model kesepadanan. Nilai-nilai ketinggian ortometrik  $H$  dengan menggunakan GPS dan ukuran aras juga dibandingkan.



**Rajah 1.1:** Carta Alir Metodologi Kajian

### 1.6.6 Analisis

Analisis yang dijalankan adalah seperti berikut:-

- a) Perbandingan nilai  $N$  dan  $H_{GPS}$  yang dihasilkan melalui model geoid graviti dan juga model geoid kesepadanan.
- b) Hasil dari pengujian dengan menggunakan kedua-dua model di dalam pemantauan tanda-tanda aras.
- c) Keupayaan keseluruhan sistem di dalam menggantikan ukuran aras konvensional Kelas I dan II.

## 1.7 KAJIAN LITERATUR

Model geoid boleh dihitung dan dihasilkan dengan pelbagai kaedah seperti, Geoid Graviti ( $N$ ) dengan menggunakan formula Stokes dan FFT, Quasi-Geoid, GPS-Geoid ( $N$  fitted to  $N_{GPS}$ ), Geoid Marine dan Geoid Satelit (Forsberg, 2002). Selain dari itu *1-cm Geoid* adalah tidak mustahil untuk diperolehi jika geoid graviti di sepadankan dengan geoid GPS ( $N_{GPS}$ ) dan selisih sistematik daripada ukuran aras, kesan geodinamik dan perbezaan sistem rujukan akan di rambat ke dalam model geoid tersebut. Sehubungan dengan itu, model ini secara teorinya bukanlah geoid sebenar tetapi lebih merupakan interpolasi permukaan (*Surface Interpolation*) (Forsberg, 2002).

Pada asasnya sistem penentuan ketinggian GPS adalah:

$$H_{\text{orthometrik}} = h_{\text{ellipsoid}} - N \quad (1.1)$$

Dan cabaran yang terdapat di sini adalah untuk mendapatkan geoid ( $N$ ) yang mempunyai kejituan 1-cm. Untuk mendapatkan ke sepadan geoid pembetulan kepada model geoid graviti & perlulah di hitung dengan menggunakan kaedah *collocation* ataupun melalui kaedah *polynomial regression*.

$$\varepsilon = N_{\text{GPS}} - N_{\text{graviti}} \quad (1.2)$$

Untuk mendapatkan kesepadanan geoid yang berkejituan tinggi, penentuan geoid  $N_{\text{GPS}}$  perlulah dihasilkan dari ketinggian  $h_{\text{GPS}}$  dan  $H_{\text{ARAS}}$  yang tepat dan jitu.

Hasil dengan menggunakan penentuan ketinggian GPS dengan beberapa kaedah telah menunjukkan bahawa kejituan sistem ketinggian GPS belum mencecah sehingga ukuran aras jitu (kelas I). Hasil yang paling baik dengan menggunakan model geoid kesepadanan adalah menepati ukuran aras kelas II sehingga jarak 2.25 km (Azhari, 2002).

Untuk kerja-kerja pemantauan atau pengesahan ketinggian tanda aras dengan menggunakan GPS, pengukuran ketinggian antena akan memberikan implikasi secara terus yang besar kepada perbezaan ketinggian bagi garis dasar yang pendek (Zaki, 1999). Dengan menggunakan model geoid EGM96 dan GPS bagi garisan yang kurang dari 10km, penentuan ketinggian ortometrik secara relatif boleh dilakukan tetapi kejituan yang dicapai adalah kurang dari ukuran aras kelas kedua (Hashim, 1998).

## BAB 2

### SISTEM PENENTUDUDUKAN SEJAGAT (GPS)

#### 2.1 PENGENALAN

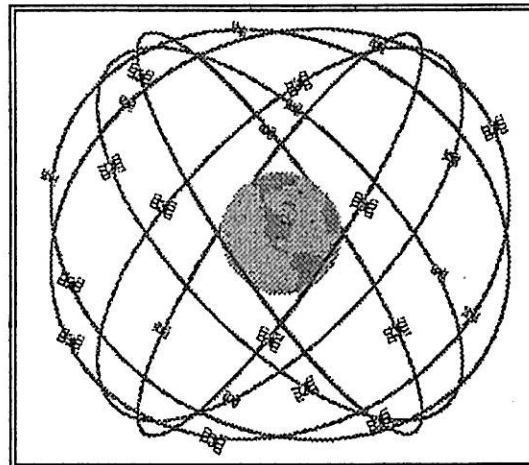
Pada tahun 1973 kumpulan projek yang terdiri dari wakil Jabatan Pertahanan Amerika (DoD) dan Agensi Pemetaan Ketenteraan (Defense Mapping Agency) telah diwujudkan, bagi membangunkan sistem navigasi dan penentududukan yang baru. Sistem baru ini bagi menggantikan sistem navigasi DOPPLER atau TRANSIT dan dikenali dengan NAVSTAR GPS. NAVSTAR adalah merupakan singkatan kepada "NAVigation by Satellite Timing And Ranging", dan GPS untuk "Global Positioning System". Tujuan utama pembangunan sistem ini adalah untuk tujuan ketenteraan tetapi untuk pengguna awam masih boleh menggunakannya dengan terhad. Karakteristik utama GPS adalah menyiarkan isyarat yang berterusan yang boleh menentukan kedudukan sesuatu tempat di mana-mana sahaja di dunia ini.

#### 2.2 GUGUSAN SATELIT GPS

Sejak satelit pertama dilancarkan pada tahun 1978, tiga generasi satelit GPS telah dibangunkan iaitu *Block I*, *Block II/IIA* dan *Block IIR*. *Block I* dan *Block II/IIA* telah dibangunkan oleh Rockwell dan *Block IIR* oleh Lockheed Martin. Generasi berikutnya adalah *Block IIF* yang telah dianugerahkan kepada Rockwell pada 1996

oleh Pejabat Program Gabungan NAVSTAR GPS di *Space and Missile System Center* (SMC). Jangka hayat satelit generasi baru ini adalah 12.7 tahun dan satelit pertama dijangka dilancarkan pada tahun 2005.

Gugusan satelit GPS mempunyai 21 satelit berserta dengan 3 satelit gantian. NAVSTAR atau SV (space vehicle) mengelilingi bumi mengikut orbit pada setiap 12 jam pada altitud 20200 km (12500 batu). Ia mengandungi 6 satah yang setiap satunya mempunyai 4 satelit dan satah tersebut condong  $55^\circ$  pada khatulistiwa. Setiap satelit sentiasa memancarkan isyarat radio menggunakan kod pengenalan sendiri yang unik. Gugusan ini meminimumkan 'satellite outages' dengan adanya 4 satelit GPS pada bila-bila masa di mana-mana lokasi di dunia. Di samping itu sistem ini membolehkan penggantian satelit dilakukan terhadap satelit GPS yang dikenal pasti kurang 'sihat'.



**Rajah 2.1:** Gugusan Satelit GPS

(Sumber: Peter H. Dana)

### 2.3 ISYARAT SATELIT GPS

Isyarat GPS dipancarkan melalui dua jalur L1 (1575.42 MHz) dan L2 (1227.60 MHz) yang dimodulatkan dalam dua tahap kejituan iaitu kod-P (Precision) dan kod-C/A perolehan kasar (Course Acquisition).

Pembawa L1 dimodulatkan dalam kedua-dua kod manakala pembawa L2 hanya mengandungi kod-P. Kod-P dipancarkan pada frekuensi jam dengan kadar chip 10.23 MHz, oleh itu satu frekuensi kod-P bersamaan dengan 29.31m. Kod C/A pula dipancarkan pada kadar cip 1.023 MHz dan diulang pada tempoh 1 milisaat. Satu frekuensi kod-C/A bersamaan dengan 293.1 m. Kadar cip yang tinggi pada kod-P dan penyelesaiannya kurang dari 0.5 m membolehkan pengukuran Julat Semu dibuat dengan ketepatan 5 m.

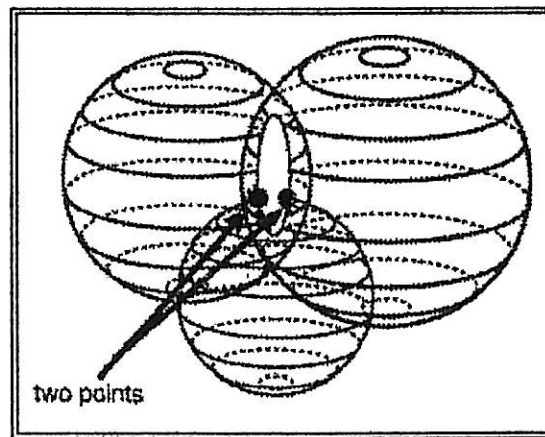
Kod C/A ini direka untuk 'Standard Positioning Service' dan dibuka kepada pengguna awam manakala kod P direka untuk 'Precise Positioning Service (PPS)' khusus untuk pengguna militeri. Selain dari kedua-dua kod ini, terdapat satu lagi kod yang digunakan di dalam sistem GPS iaitu kod Y. Kod ini terbitan dari kod P yang dijanakan dengan algoritma matematik yang rahsia. Bagi menggunakan kod P dalam penentududukan, pengguna perlulah mengetahui matematik terbitan kod Y kepada kod P.

## 2.4 KONSEP PENENTUDUDUKAN GPS

Sistem GPS mampu memberikan kedudukan titik dalam tiga dimensi dengan membuat cerapan serentak pada sekurang-kurangnya 4 satelit. Prinsip pengukuran GPS adalah sama dengan kaedah penentududukan triangulasi atau trilaterasi. Jika menggunakan kaedah triangulasi atau trilaterasi, koordinat titik-titik kawalan diketahui terlebih dahulu. Penentududukan menggunakan GPS pula memerlukan kedudukan-kedudukan satelit yang tepat pada setiap epok cerapan. Oleh kerana masa ( $t$ ) tidak diketahui, 4 satelit perlu dicerap serentak untuk menyelesaikan 4 parameter ( $X, Y, Z, t$ ) yang diperlukan.

Konsep sistem GPS adalah pengukuran jarak di antara satelit dengan alat penerima. Dengan mengetahui kedudukan satelit di ruang angkasa, maka kedudukan stesen alat penerima dapat ditentukan. Penentududukan dengan GPS pada dasarnya

boleh dilakukan dengan dua kaedah iaitu dengan kaedah julat semu (pseudo range) atau kaedah fasa pembawa (carrier phase).



**Rajah 2.2:** Konsep *Surface-of-Position*  
(Sumber: Chris Rizos)

#### 2.4.1 Pengukuran Julat Semu

Pengukuran dengan kaedah julat semu dapat dilakukan dengan menggunakan kod daripada satelit sama ada dengan menggunakan kod C/A atau kod P. Ia merupakan kod hingar rawak semu (Pseudo Random Noise - PRN) yang telah dijanakan berdasarkan kepada satu algoritma matematik yang telah diketahui. Kod ini telah dinyatakan dalam bentuk siri nombor binari +1 dan -1. Siri nombor binari bagi 'pseudo random' yang dicerap dengan kod C/A atau kod P ini dapat dihasilkan dengan menggunakan satu alat yang dipanggil 'Tapped Feedback Shift Registers'.

Dengan pengukuran julat semu kedudukan serta merta titik boleh didapati dengan menggunakan kod siaran untuk penentuan kedudukan mutlak. Bagi penentuan mutlak dengan cerapan julat semu, pengguna awam mampu memperolehi ketepatan antara 10 – 15 m (Lachapelle et al., 1987). Nilai ketepatan ini tidak disenangi oleh Jabatan Pertahanan Amerika Syarikat lalu diperkenalkan Mod pilihan Keupayaan



(Selected Availability -SA) bertujuan mengurangkan ketepatan di dalam pengukuran. Arahan ini telah dibatalkan oleh Presiden Bill Clinton pada 1 Mei 2000.

#### **2.4.2 Pengukuran Fasa Pembawa**

Pengukuran fasa pembawa digunakan untuk tujuan penentududukan yang berkejituan tinggi seperti ukur kawalan dan sebagainya. Kejituan yang mampu dicapai dengan kaedah fasa pembawa adalah antara 1 hingga 3 mm. Kaedah pengukurannya adalah sama dengan pengukuran jarak elektronik (EDM). Pengukuran menggunakan EDM hanya merangkumi jarak di atas permukaan bumi sahaja, tetapi pengukuran dengan GPS (fasa pembawa) melibatkan pengukuran jarak dari satelit kepada stesen-stesen cerapan di bumi.

Cerapan fasa pembawa melibatkan pengukuran ke atas nilai awalan ambiguiti, bilangan gelombang yang lengkap dan bahagian pecahan panjang gelombang yang lengkap (Majid dan Tan, 1996). Kaedah pengukuran ini melibatkan penggunaan gelombang isyarat pembawa L1 dan L2. Jarak gelombang jenis ini adalah lebih pendek daripada jarak gelombang Kod P dan Kod C/A iaitu 19 cm bagi L1 dan 24 cm bagi L2 berbanding dengan 30 m untuk kod P dan 300 m untuk kod C/A. Memandangkan jarak gelombang bagi L1 dan L2 ini lebih pendek, maka pengukuran yang lebih tepat akan dapat dicapai.

Terdapat dua kelemahan di dalam kaedah cerapan ini iaitu nilai integer awalan ambiguiti yang tidak dapat diketahui secara langsung dan wujudnya gelincir kitar. Di samping itu, ia juga dipengaruhi oleh kesan lengah troposfera dan ionosfera. Pengukuran fasa pembawa GPS dapat membuat penentududukan relatif yang jitu kerana pada prinsipnya ia tidak memerlukan kod siaran.

## 2.5 FAKTOR BIAS DAN SELISIH DALAM PENGUKURAN GPS

Dalam ketepatan pengukuran GPS, selisih sistematik disebutkan sebagai 'bias'. Selisih ini dapat dimodel dan dihapuskan melalui model tersebut. Manakala selisih rawak juga disebutkan sebagai 'error' tidak dapat dimodelkan, tetapi selisih ini dapat diminimumkan dengan mengambil langkah berjaga-jaga semasa cerapan padang dilakukan.

Selisih-selisih sistematik dapat dikategorikan kepada 3 kumpulan utama :

- Bias satelit - bias orbit dan bias jam satelit
- Bias cerapan - kesan troposfera dan ionosfera
- Bias stesen - bias jam alat penerima dan bias koordinat stesen

Selisih-selisih rawak pula dapat dibahagikan kepada 3 punca utama iaitu :

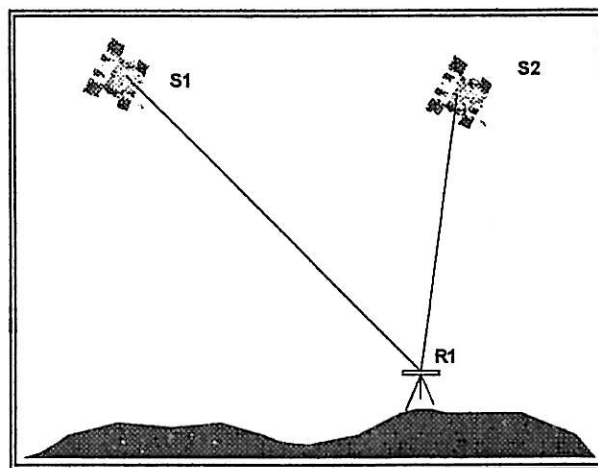
- Gelinciran kitar (Cycle Slip)
- Berbilang haluan dan kesan imej (Multipath)
- Pergerakan pusat fasa antena (Antenna Phase Center Variation)
- Penentuan nilai ambiguiti (Ambiguity Resolution)

## 2.6 TEKNIK CERAPAN PEMBEZAAN

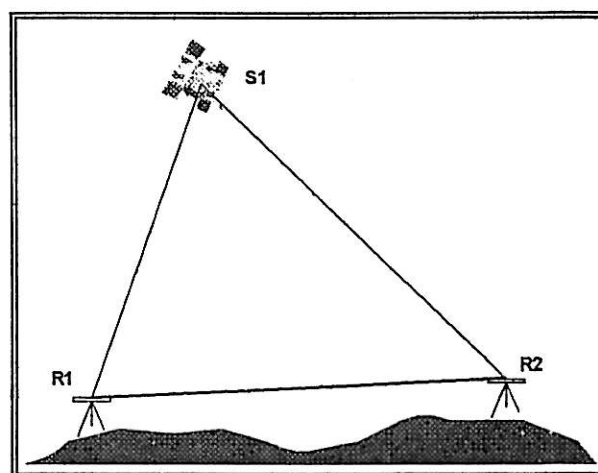
Cerapan GPS boleh dilakukan secara mutlak atau relatif. Cerapan relatif akan menghasilkan kejituan yang tinggi dan biasanya digunakan bagi pengukuran geodetik. Bagi menghapus dan meminimumkan bias cerapan, teknik pembezaan (differencing) lazimnya digunakan. Terdapat beberapa teknik pembezaan iaitu antara epok, antara satelit dan antara alat penerima atau mana-mana gabungan.

### 2.6.1 Cerapan Pembezaan Tunggal (Single Difference)

Teknik cerapan pembezaan tunggal adalah pencerapan yang dilakukan serentak terhadap satu satelit dari dua alat penerima pada satu epok atau satu alat penerima ke dua satelit. Kaedah cerapan dari satu alat penerima ke dua satelit (Rajah 2.3) akan dapat menghapuskan selisih jam alat penerima. Sementara selisih jam satelit akan dapat dihapuskan melalui cerapan dari satu satelit ke dua alat penerima (Rajah 2.4). Kesan atmosfera juga dapat diminimumkan dengan menggunakan kaedah ini.



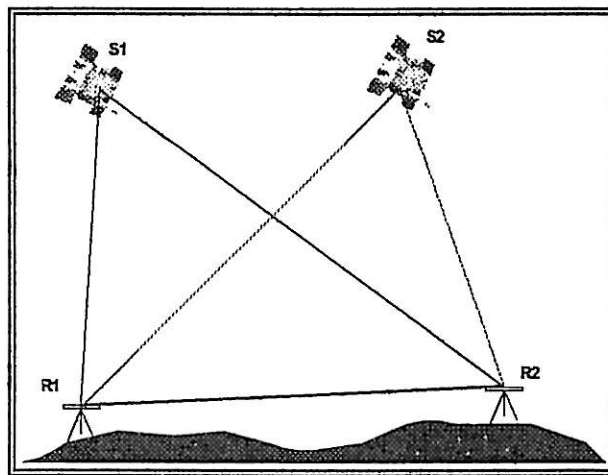
Rajah 2.3: Teknik Cerapan Pembezaan Tunggal



Rajah 2.4: Teknik Cerapan Pembezaan Tunggal

### 2.6.2 Cerapan Pembezaan Ganda-dua (Double Difference)

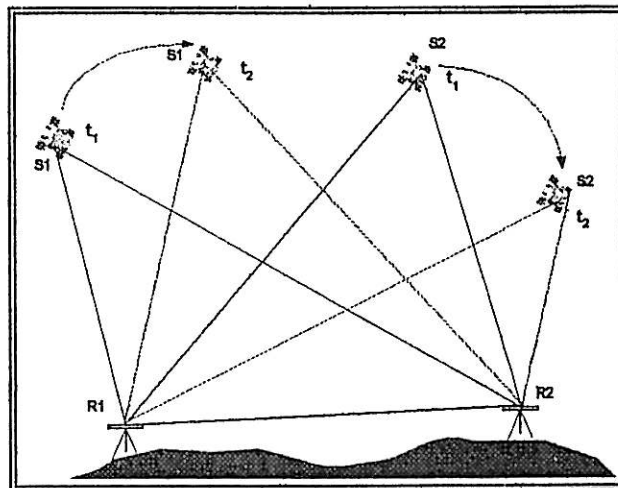
Teknik pencerapan ganda-dua adalah cerapan yang dilakukan dari dua alat penerima kepada dua satelit dalam satu masa (Rajah 2.5). Kaedah ini adalah kaedah yang biasanya digunakan untuk penghapusan selisih jam satelit, selisih jam penerima, kesan ionosfera dan troposfera (bagi garis dasar pendek). Kaedah ini tidak dapat menghapus atau membetulkan gelinciran kitar (Cycle Slip) atau pun penyelesaian ambiguiti permulaan.



Rajah 2.5: Teknik Cerapan Ganda-dua

### 2.6.3 Cerapan Pembezaan Ganda-tiga (Triple Difference)

Teknik ini adalah cerapan di antara dua teknik ganda-dua, iaitu melibatkan dua alat penerima, dua satelit dan di dua masa yang berlainan (Rajah 2.6). Kaedah ini akan dapat menghapuskan selisih jam satelit, selisih jam alat penerima, bias orbit, kesan ionosfera dan troposfera. Teknik ini akan dapat menghapuskan juga gelinciran kitar dan membatalkan parameter-parameter lain seperti nilai awalan ambiguiti di dalam pembentukan persamaan cerapan.



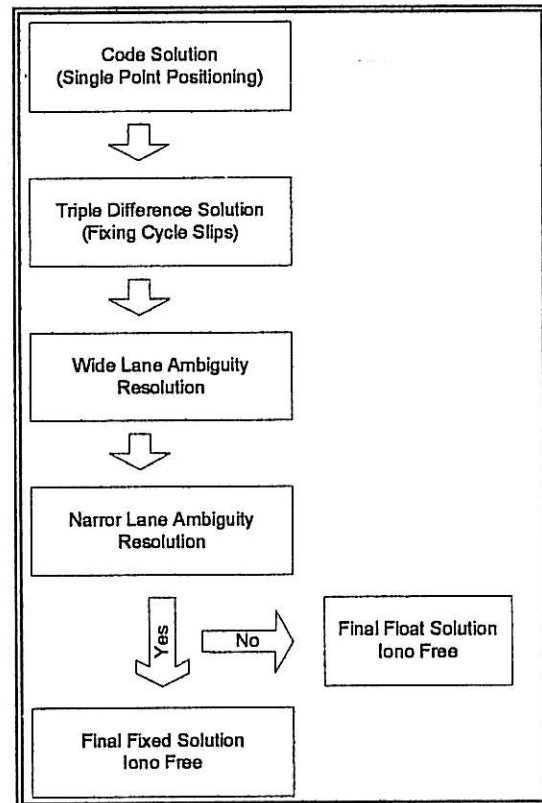
**Rajah 2.6:** Teknik Cerapan Ganda-tiga

## 2.7 PRINSIP PEMROSESAN DATA GPS

Data-data GPS yang dicerap diproses terlebih dahulu untuk mendapatkan vektor garis dasar sebelum ianya dicantum dan dijadikan satu jaringan untuk pelarasan jaringan. Perisian pemprosesan akan melakukan beberapa kombinasi dari *observables* untuk mendapatkan hasil yang mempunyai kualiti yang terbaik. Hasil (solution), adalah berbeza dan bergantung kepada kualiti data dan juga strategi yang akan digunakan. Perisian komersial pada asasnya mampu untuk menghasilkan penyelesaian *FIXED*, *FLOAT* dan *CODE* dengan menggunakan frekuensi *L1*, *L2*, *Widelane*, *Narrow Lane* atau pun *Iono-Free* (*L3*).

Bagi garis dasar yang mempunyai jarak kurang dari lima kilometer, penyelesaian terbaik adalah dengan menggunakan *L1 Fixed*, dan untuk garis dasar jarak sederhana dan jauh (sehingga 50 km) penyelesaian *Iono Free Fixed* adalah pilihan terbaik. Penyelesaian *Iono Free Float* mungkin yang baik bagi garis dasar yang ekstrem panjang (*very long baseline*).

**Rajah 2.7:** Carta Alir Pemprosesan Data GPS



Rajah 2.7 di atas menunjukkan carta alir bagi pemprosesan data yang di gunakan oleh kebanyakan perisian pemprosesan pada masa kini.

### 2.7.1 Pemprosesan Kod

Pemprosesan ini dilakukan bagi membuat anggaran selisih jam alat penerima dan juga selisih jam satelit. Selain dari itu teknik akan memberikan koordinat mutlak bagi alat penerima dengan kejituan  $\pm 5$  meter tanpa S.A (Selected Availability).

### **2.7.2 Pemrosesan Pembezaan Ganda-tiga**

Proses ini melibatkan pengesanan dan pembetulan gelinciran kitar yang berlaku di samping menghitung nilai anggaran posisi titik-titik cerapan (garis dasar).

### **2.7.3 Pemrosesan Pembezaan Ganda-dua Wide Lane**

Ia melibatkan penganggaran nilai integer ambiguiti bersamaan dengan vektor garis dasar dan matriks varian-kovarian serta matriks kolerasi vektor tersebut. Frekuensi yang digunakan adalah kombinasi linear  $L1-L2$  dan akan menghasilkan panjang gelombang 86 cm. Dengan panjang gelombang ini akan memudahkan untuk menyelesaikan peleraian ambiguiti.

### **2.7.4 Pemrosesan Pembezaan Ganda-dua Narrow Lane**

Ia melibatkan penganggaran nilai integer ambiguiti bersamaan dengan vektor garis dasar dan matriks varian-kovarian serta matriks kolerasi vektor tersebut. Frekuensi yang digunakan adalah kombinasi linear  $L1+L2$  dan akan menghasilkan panjang gelombang 11 cm.

### **2.7.5 Pemrosesan Pembezaan Ganda-dua Bebas Ionosfera L3**

Jika pemproses mampu untuk menyelesaikan peleraian ambiguiti bagi "Narrow-Lane" maka penyelesaian muktamad adalah merupakan "Ionosphere Free Fixed Solution" dan jika tidak penyelesaian adalah merupakan "Ionosphere Free Fixed Float".

## 2.8 SISTEM RUJUKAN GLOBAL

Teknologi satelit moden telah dapat memperbaiki kaedah penentuan parameter elipsoid. *World Geodetic System 1984* (WGS84) dan *Geodetic Reference System 1980* (GRS80) adalah merupakan dua elipsoid terbaik masa kini untuk pernyataan sistem rujukan geodetik global. WGS84 adalah merupakan sistem rujukan bagi GPS sementara GRS80 adalah sistem rujukan geodetik yang digunakan oleh IUGG (International Union of Geophysics and Geodesy).

**Jadual 2.1: Parameter Elipsoid**

No.	Parameter	WGS 84	GRS 80
1	Paksi Semi Major (a)	6 378 137 m	6 378 137 m
2	Pesean (1/f)	298.257 223 563 m	298.257 222 101 m
3	Pemalar Daya Graviti Bumi (GM)	$3\,986\,005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$	$3\,986\,004.418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$
4	Halaju Membulat Bumi ( $\omega$ )	$292\,115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$	$292\,115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$

Dengan nilai yang sama bagi  $a$  dan  $\omega$  dengan GRS 80, WGS 84 (G1160) yang digunakan sekarang (National Imagery and Mapping Agency, 2000) telah menggunakan kedua-dua nilai telah di perbaiki iaitu pemalar daya tarikan bumi ( $GM = 3\,986\,004.418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ) dan, salah satu dari parameter yang ditetapkan, iaitu pesean ( $1/f = 298:257\,223\,563$ ). Perbezaan kecil di antara WGS84 dan GRS80 pada asasnya tidak akan memberi kesan terhadap nilai-nilai kiraan.



## **BAB 3**

### **SISTEM PENENTUAN KETINGGIAN GPS**

#### **3.1 PENGENALAN**

Sejak berdekad yang dahulu, ketinggian ortometrik bagi satu-satu titik ditentukan dengan menggunakan kaedah ukuran aras. Kaedah ini adalah mudah untuk dilaksanakan dan dapat memberikan kejituan yang tinggi. Walau bagaimana pun sistem ini memerlukan masa yang panjang dan tenaga kerja yang ramai bagi menghabiskan satu larian ukuran aras. Di samping itu untuk penghasilan nilai ketinggian ortometrik yang jitu, satu rangkaian aras perlu diwujudkan, di mana ianya kadangkala menjangkau jarak sehingga beribu kilometer bagi satu-satu rangkaian bersambungan.

Bagaimana pun dengan perkembangan yang pesat dalam teknologi GPS dan juga penentuan ketinggian geoid, ketinggian elipsoid boleh didapati dalam jangka masa yang singkat dengan kejituan yang tinggi. Teknologi GPS boleh mencapai 0.1 – 1 ppm bagi penentududukan horizontal dan 2 – 3 ppm bagi penentuan pugak (Schwarz, 1987). Untuk menentukan ketinggian ortometrik dengan menggunakan GPS, persamaan hubungan bagi ketinggian ortometrik, ketinggian elipsoid dan ketinggian geoid boleh digunakan.

Terdapat dua jenis permukaan rujukan geodetik yang digunakan sebagai permukaan rujukan bagi sistem ketinggian di permukaan bumi. Geoid adalah permukaan sama upaya graviti iaitu permukaan yang bersudut tepat dengan arah

tarikan graviti, sementara elipsoid adalah permukaan rujukan yang diwujudkan bagi memudahkan perhitungan matematik dilakukan ke atasnya.

### 3.2 JENIS-JENIS KETINGGIAN

Di dalam bidang geodesi terdapat pelbagai ketinggian dengan setiap ketinggian merujuk kepada permukaan rujukan yang berbeza.

#### 3.2.1 Ketinggian Ortometrik (H)

Ketinggian ortometrik ialah ketinggian sesuatu titik (di permukaan bumi) di atas geoid (aras laut min). Ketinggian ini diukur dari permukaan geoid kepada satu titik di atas permukaan bumi yang diukur sepanjang lengkung vertikal. Ketinggian ini didokumentasikan sebagai ketinggian tanda aras (BM). Ketinggian ortometrik boleh dihitung dengan:-

$$H = \frac{C}{\bar{g}}$$

Di mana,

$H$	=	Ketinggian Ortometrik
$C$	=	Nombor sama upaya
$\bar{g}$	=	Purata nilai graviti

#### 3.2.2 Ketinggian Normal ( $H^*$ )

Ketinggian ini adalah merupakan dengan mengambil kira pembetulan purata graviti normal di sepanjang garis plum. Ketinggian normal  $H^*$  boleh dihitung dengan:-

$$H^* = \frac{C}{\bar{\gamma}}$$

Di mana,

$$\begin{aligned} H^* &= \text{Ketinggian Normal} \\ C &= \text{Nombor sama upaya} \\ \bar{\gamma} &= \text{Purata nilai graviti normal} \end{aligned}$$

Nilai purata graviti normal adalah dikira secara *upward continuation* di atas ellipsoid geosentrik.

### 3.2.3 Ketinggian Dinamik ( $H^{dym}$ )

Ketinggian ini adalah merupakan ketinggian yang dihitung dengan membahagikan nilai nombor sama upaya dengan nilai graviti rujukan ( $\gamma_0$ ), iaitu nilai graviti normal di atas purata permukaan ellipsoid. Di dalam kata lain, nilai  $\gamma_0$  adalah merupakan nilai purata graviti normal bagi kawasan tertentu.

$$H^{dym} = \frac{C}{\gamma_0}$$

Di mana,

$$\begin{aligned} H^{dym} &= \text{Ketinggian Dinamik} \\ C &= \text{Nombor sama upaya} \\ \gamma_0 &= \text{Graviti normal di atas purata ellipsoid} \end{aligned}$$

Nilai purata graviti normal adalah dikira secara *upward continuation* di atas ellipsoid geosentrik.

### 3.2.4 Ketinggian Elipsoid ( $h$ )

Ketinggian elipsoid ialah ketinggian sesuatu titik di permukaan bumi yang dirujuk kepada permukaan elipsoid yang dipilih. Dalam kes GPS, elipsoid yang digunakan adalah WGS84. Pemilihan bentuk elipsoid ini telah dibuat oleh ahli-ahli geodesi bagi tujuan menyenangkan kerja-kerja perhitungan di atasnya kerana ia boleh dimodelkan dalam bentuk matematik.

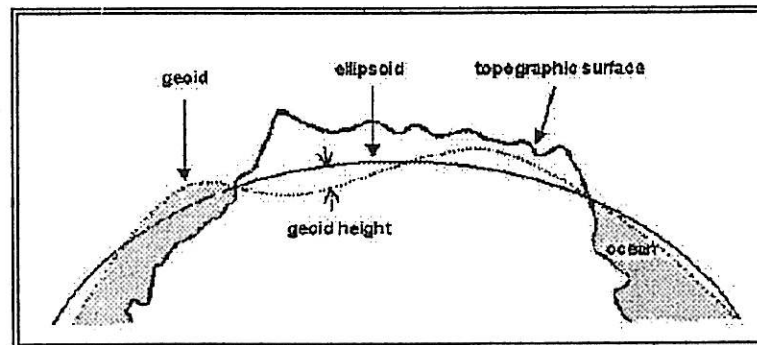
Hakikatnya, permukaan elipsoid tidak wujud secara fizikal, tiada permukaan semula jadi bumi yang dapat menyamai atau menggambarkan permukaan ini secara jelas. Ia hanya diwujudkan bagi memudahkan perhitungan dilakukan ke atasnya.

### 3.2.5 Ketinggian Geoid ( $N$ )

Ketinggian geoid dan sering disebut sebagai pisahan geoid ( $N$ ) merupakan pisahan di antara permukaan geoid dan elipsoid rujukan. Geoid atau Aras Laut Min (ALM) amat penting dalam pengukuran ketinggian kerana ia menjadi rujukan kepada ketinggian permukaan bumi.

## 3.3 HUBUNGAN ANTARA $H$ , $h$ dan $N$

Hubungan antara ketinggian ortometrik ( $H$ ), ketinggian elipsoid ( $h$ ) dan ketinggian geoid ( $N$ ) dan adalah seperti digambarkan dalam Rajah 3.1 dan Rajah 3.2 di bawah.



**Rajah 3.1: Hubungan Geoid dan Elipsoid**  
(Sumber: Xing Li & Hans-Jurgen-Gotze, 2001)

Perhubungan ini boleh dinyatakan dengan persamaan seperti berikut :-

$$h = N + H \cos(\psi) \quad (3.1)$$

di mana,

$h$  = ketinggian elipsoid

$N$  = pisahan geoid-elipsoid atau ketinggian geoid

$H$  = Ketinggian ortometrik

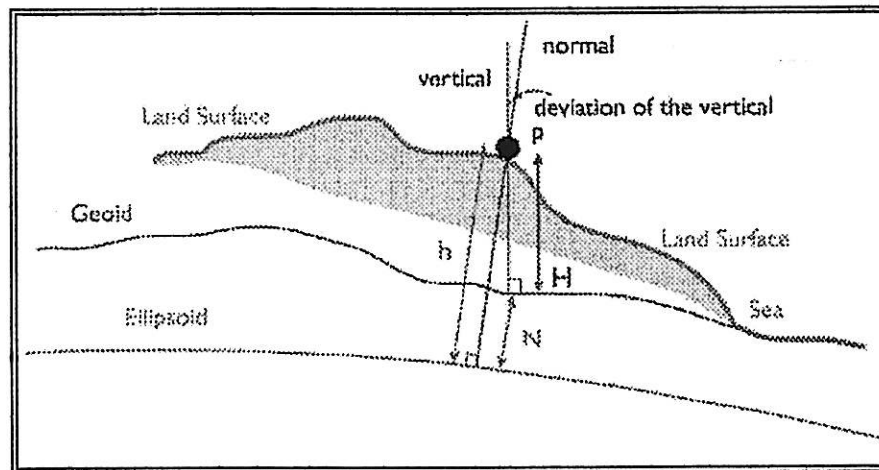
$\psi$  = pesongan pugak (deviation of vertical)

Oleh kerana nilai  $\psi$  adalah kecil,  $\cos(\psi) = 1$ , maka persamaan tersebut boleh ditulis sebagai:

$$h = N + H$$

atau

$$H = h - N \quad (3.2)$$



**Rajah 3.2: Hubungan H, h dan N**  
(Sumber: Xing Li & Hans-Jurgen-Gotze, 2001)

### 3.4 KAEDAH PENENTUAN KETINGGIAN GEOID

Secara prinsipnya geoid mutlak (relatif kepada permukaan elipsoid rujukan) hanya boleh diperolehi secara terperinci dengan menggunakan data-data graviti yang berterusan dan yang meliputi seluruh dunia (Heiskanen dan Moritz, 1967). Penentuan ketinggian geoid mutlak tidak mampu memberikan kejitian yang tinggi kerana sebarang usaha untuk menghitung geoid mutlak ini akan menghasilkan bias, sebaliknya ketinggian geoid relatif mampu memberikan kejitian sehingga kepada beberapa ppm (Rizos, 1996). Oleh itu, dalam bidang ukur dan geodesi penentuan ketinggian geoid relatif sering digunakan.

#### 3.4.1 Ketinggian Geoid Global ( $N_{GM}$ )

Ketinggian geoid global adalah diperolehi dari model geopotensi iaitu merupakan gabungan antara data dari satelit dengan data cerapan graviti. Ianya dimodelkan dalam bentuk matematik dengan menggunakan kembangan siri harmonik sfera. Ketinggian geoid adalah satu kuantiti di mana ianya boleh ditentukan dengan

menggunakan formula matematik di mana inputnya bagi sesuatu titik ialah latitud, longitud, ketinggian dan pekali bagi model geopotensi. Ia merupakan satu set angkali (coefficient) yang mengandungi satu siri fungsi harmonik sfera. Kejituan model geoid global geopotensi bergantung kepada beberapa faktor seperti jumlah data graviti tempatan yang dimasukkan ke dalam model, jumlah dan kualiti data yang dijejak oleh satelit, kelicinan (smootheness) geoid dan darjah maksimum dari model. Dengan kaedah mutlak, ketepatan nilai ketinggian geoid yang diperolehi adalah beberapa meter (Rizos, 1996).

Dengan perkembangan teknologi sekarang nilai-nilai model harmonik sfera boleh dihitung dengan menggunakan data-data yang terdapat dari analisis orbit satelit bagi geoid yang mempunyai gelombang panjang, nilai graviti terrestrial bagi gelombang sederhana dan pendek dan penggunaan satelit altimetri bagi geoid di atas permukaan laut. Sehingga kini, data-data dari satelit yang boleh diperolehi adalah seperti data-data graviti dari:-

- i. Satelit KMS03 untuk data-data altimetri
- ii. Satelit CHAMP untuk data dan penyelesaian EIGEN-2
- iii. Satelit GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment)

Model geopotensi boleh ditukarkan ke kepada ketinggian geoid dengan menggunakan *Brun's Formula* (Heiskanen & Moritz, 1967).

$$N_{GM} = \frac{GM}{R\gamma} \sum_{n=2}^{n=\max} \left( \frac{a_e}{R} \right)^n \sum_{m=0}^n P_{nm}(\sin \phi) [C_{nm}^* \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] \quad (3.3)$$

di mana,

$\phi, \lambda$	=	latitud dan longitud titik untuk dihitung
$R$	=	jejari geosentrik
$\gamma$	=	graviti normal di atas elipsoid
$a_e$	=	jejari sfera di mana angkali dirujuk
$G$	=	angkatap graviti (Gravitational Constant)

$M$	=	jisim bumi
$P_{nm}$	=	fungsi Legendre pada darjah $n$ order $m$
$C_{nm}^*, S_{nm}$	=	angkali harmonik sfera bagi geopotensi, untuk darjah $n$ dan order $m$ . $C_{nm}^*$ adalah pembetulan bagi model potensi dari elipsoid rujukan di mana ketinggian geoid dirujuk.
$n_{max}$	=	darjah dan order maksimum bagi pengembangan harmonik sfera

Kejituan model geoid geopotensi adalah bergantung sepenuhnya kepada data-data dari cerapan terrestrial tempatan, jumlah data dari satelit dan darjah maksimum dari model. Terdapat pelbagai model geoid geopotensi yang telah dihasilkan seperti OSU89B, OSU91A dan yang terkini adalah EGM96.

### 3.4.2 Ketinggian Geoid Gravimetrik ( $N_{Grav}$ )

Ketinggian geoid gravimetri diperolehi dari data cerapan graviti terrestrial dalam kawasan titik-titik yang akan dihitung dengan menggunakan *Stokes Integral* dan 'Spherical Harmonic Models'. Kaedah ini merupakan suatu kaedah yang paling tepat dalam penentuan geoid, namun bagi sesetengah kawasan ianya sukar dilakukan (Rizos, 1996). Buat masa ini, ketepatan yang mampu dicapai dalam penentuan ketinggian geoid relatif dengan kaedah gravimetri adalah sehingga 3 ppm bagi jarak 10 hingga 100 km (Schwarz et al., 1987).

Formula *Stokes Integral* adalah :

$$N_{Grav} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint f(\psi) \Delta g d\sigma \quad (3.4)$$

di mana,



$R$	=	jejari geosentrik
$\gamma$	=	graviti normal di atas elipsoid
$a_e$	=	jejari sfera di mana angkali dirujuk
$f(\psi)$	=	Fungsi Stokes
$M$	=	jisim bumi
$\Delta g$	=	anomali graviti (=graviti yang diceraap dan diturunkan ke atas geoid – graviti normal pada titik berkenaan di atas elipsoid).
$d\sigma$	=	elemen permukaan
$\psi$	=	jarak sudut, diukur dari pusat jisim, antara titik yang dihitung dan titik di mana anomali graviti terletak.

Prinsip hitungan adalah untuk menghitung model geoid bagi seluruh glob, tetapi memandangkan ketiadaan data graviti yang menyeluruh, maka kaedah ini hanya terhad kepada kawasan yang mempunyai data graviti sahaja. Kombinasi *Stokes Integral* dan model harmonik sfera adalah:-

$$N_{\text{Grav}} = N_{\text{GM}} + N_s \quad (3.5)$$

di mana  $N_{\text{GM}}$  adalah ketinggian geoid global yang dihasilkan melalui persamaan (3.3) dan  $N_s$  adalah melalui pengubahan formula (3.4) (Kernel Modification).

$$N_s = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^{\psi_0} \int_0^{2\pi} f(\psi) \Delta g' d\alpha d\psi \pi \quad (3.6)$$

Integrasi hanya dilakukan pada 'cap' yang terhad sahaja dan dipusatkan pada titik hitungan dengan jejari  $\psi_0$ . Graviti anomali adalah satu kuantiti residual iaitu:

$$\Delta g' = \Delta g + \Delta g_L \quad (3.7)$$

di mana  $\Delta g$  adalah graviti anomali sementara  $\Delta g_L$  adalah anomali yang diturunkan dari model harmonik sfera:

$$\Delta g_L = \frac{GM}{R^2} \sum_{n=2}^{n=\max} \left( \frac{a_e}{R} \right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n P_{nm}(\sin \phi) [C_{nm}^* \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] \quad (3.8)$$

Kaedah ini adalah sesuai bagi kawasan yang mempunyai data-data graviti tempatan yang baik dan mempunyai ketumpatan tinggi. Pada asasnya ketinggian geoid relatif akan memberi nilai yang lebih baik dari ketinggian geoid mutlak.

### 3.4.3 Ketinggian Geoid Geometrik ( $N_{Geo}$ )

Ketinggian geoid (N) dengan kaedah ini adalah memerlukan cerapan GPS dilakukan ke atas tanda-tanda aras yang mempunyai ketinggian ortometrik (H). Formula (3.2) digunakan untuk menghitung nilai  $N_{Geo}$  dengan ketinggian elipsoid (h) didapati melalui cerapan GPS. Nilai-nilai  $N_{Geo}$  bagi setiap titik ini kemudiannya boleh membentuk model geoid dengan menggunakan kaedah interpolasi. Teknik yang biasa digunakan adalah seperti penetapan permukaan satah (Surface Fitting), collocation, cubic splines dan lain-lain. Kejituan model ini banyak bergantung kepada ketepatan nilai  $H_{aras}$  dan  $h_{GPS}$ .

## 3.5 KONSEP GEOID KESEPADANAN (FITTED GEOID)

Dengan menggunakan maklumat daripada GPS-Ukur Aras ( $h_{GPS} - H_{aras}$ ), selisih di dalam gelombang jarak jauh (long-wavelength) boleh dinyahkan dan pada masa yang sama perbezaan antara kedua-dua datum boleh dihapuskan. Walau bagaimana pun adalah menjadi perkara penting apabila penghitungan ketinggian geoid menggunakan formula,

$$N_{GPS} = h_{GPS} - H_{Aras} \quad (3.9)$$

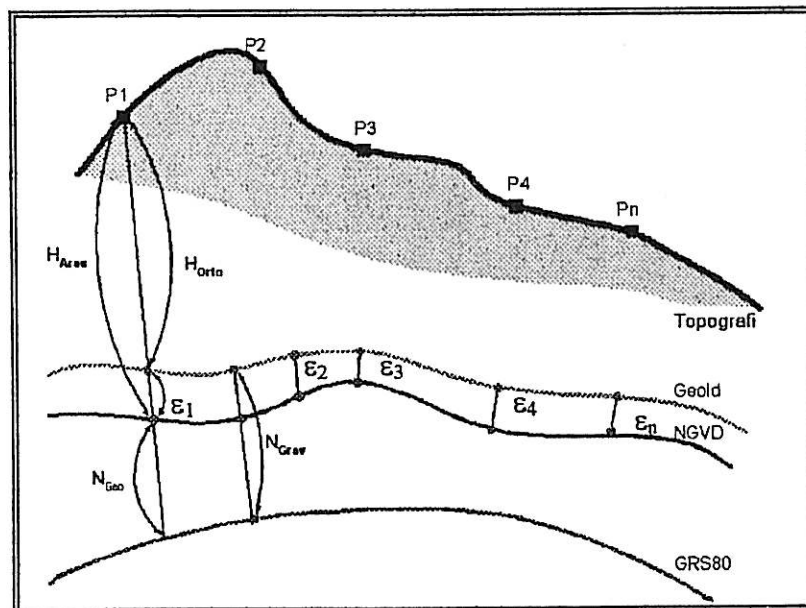
kedua-dua nilai ketinggian elipsoid dan ukur aras hendaklah terhindar seboleh yang mungkin dari sebarang selisih, jika tidak selisih ini akan terambat ke dalam geoid kesepadanan. Selisih yang biasa terdapat di dalam GPS adalah bias ionosfera dan troposfera dan selisih dalam pengukuran ketinggian antenna (Forsberg, 2002). Selisih yang sama juga terdapat di dalam ukuran aras dan ianya lebih berbentuk sistematik dan pada amnya tidak dapat diketahui dan ianya juga bergantung kepada bagaimana kaedah ukuran aras itu dijalankan.

Kesepadanan ketinggian geoid gravimetrik kepada ketinggian geoid GPS (Geometrik) yang tersedia di dalam bentuk grid memerlukan pemodelan isyarat pembetulan

$$\varepsilon = N_{\text{Geo}} - N_{\text{Grav}} \quad (3.10)$$

Di mana,  $\varepsilon$  adalah fungsi kepada latitud dan longitud, atau  $\varepsilon = f(\varphi, \lambda)$

dan kemudiannya menambah model pembetulan  $\varepsilon$  kepada ketinggian geoid gravimetrik. Dengan cara ini grid kesepadanan geoid yang baru akan diselaraskan dengan ukuran aras dan datum GPS.



Rajah 3.3: Bias Datum ( $\varepsilon = f(\varphi, \lambda)$ )

Model yang biasa digunakan bagi kesepadanan geoid adalah :-

$$\varepsilon = a_1 \quad (3.11)$$

Di dalam kes di atas bias adalah sama bagi semua tempat.

Model-model alternatif lain adalah:-

$$\varepsilon = a_1 + Na_2 + Ea_3; \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = a_1 + Na_2 + Ea_3 + NEa_4 + N^2a_5 + E^2a_6 \quad (3.13)$$

Formula (3.12) dan (3.13) pula adalah kesepadanan yang menggunakan kaedah polinomial.

$$\varepsilon = \cos\phi \cos\lambda a_1 + \cos\phi \sin\lambda a_2 + \sin\phi a_3 + Ra_4 \quad (3.14)$$

Dengan menggunakan model (3.14) ianya adalah sama dengan menggunakan transformasi Helmert 7-parameter di mana anu  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$  adalah bersamaan dengan  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  dan  $\Delta Z$  sementara  $a_4$  adalah merupakan faktor skala.

Formula polinomial (3.13) dan (3.14) mempunyai kelemahan di mana nilai  $\varepsilon$  boleh memberikan nilai yang tidak realistik di tempat yang data adalah meragukan dan juga tempat-tempat di luar kawasan pencerapan  $N_{GPS}$ . Dengan itu kaedah *collocation* adalah lebih sesuai di dalam memodelkan residual dengan menggunakan formula (3.14). Dengan kaedah *collocation* fungsi kovarian perlulah di 'ramalkan' bagi selisih di dalam residual geoid  $\varepsilon$  sebagai fungsi jarak.

Pembetulan selisih geoid boleh menggunakan *collocation predictor*

$$\varepsilon'_i = C_{ix} [C_{xx} + C_{nn}]^{-1} x \quad (3.15)$$

### 3.6 PENENTUAN KETINGGIAN ORTOMETRIK DARI GPS

Terdapat dua kaedah di dalam penentuan ketinggian ortometrik dengan menggunakan GPS dan juga pilihan model geoid yang sesuai.

#### 3.6.1 Penentuan Ketinggian Secara Relatif

Kebiasaannya, ketinggian yang digunakan bagi tujuan pengukuran adalah merujuk kepada Datum Pugak Tempatan. Pada asasnya datum pugak tempatan ini adalah satu permukaan rujukan kepada sistem ketinggian dan ianya dikaitkan dengan cerapan pasang surut. Ketinggian ortometrik dari cerapan GPS boleh dihitung secara relatif dari persamaan berikut:

$$H_B = H_A + \Delta h_{AB} - \Delta N_{AB} \quad (3.16)$$

Di mana nilai  $N$  adalah merupakan ketinggian geoid dari model yang dipilih.

Persamaan ini berasaskan anggapan bahawa permukaan datum pugak tempatan adalah selari dengan permukaan model geoid yang digunakan contohnya model geoid gravimetrik tempatan. Model geoid adalah permukaan geopotensi yang menggambarkan bentuk muka bumi secara fizikal. Datum pugak juga merupakan satu permukaan sama upaya dan seharusnya selari secara fizikal dengan model-model geoid yang digunakan.

Tetapi, datum pugak ini mungkin tidak selari berbanding model yang lain seperti EGM96 dan geoid gravimetrik tempatan kerana wujudnya selisih dalam cerapan dan penghasilan jaringan yang tidak sempurna. Datum pugak ini terbentuk dengan terbentuknya jaringan aras. Oleh kerana wujud ketidakselarian antara permukaan tersebut, maka ketinggian ortometrik dari cerapan GPS perlu dihitung dengan menggunakan persamaan relatif seperti (3.16) untuk mengurangkan bias datum terhadap nilai ketinggian.

### **3.6.2 Penentuan Ketinggian Secara Mutlak**

Penentuan ketinggian ortometrik secara mutlak (3.2) adalah sesuai dengan kerja-kerja GPS seperti RTK, di mana ketinggian secara hakiki adalah diperlukan. Untuk mendapatkan ketinggian ortometrik yang berkejituan tinggi, ianya adalah secara terus bergantung kepada kejituan model geoid yang digunakan. Dengan itu penggunaan model kesepadanan geoid adalah sesuai bagi kerja-kerja yang memerlukan ketinggian secara hakiki.

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN, PEMROSESAN DAN PELARASAN DATA GPS**

#### **4.1 PENGENALAN**

Bab ini akan menjelaskan secara terperinci kaedah pengumpulan data dan juga langkah-langkah pemprosesan yang telah diambil. Data-data yang digunakan adalah terdiri dari data-data yang sedia ada yang diperolehi dari Seksyen Geodesi, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (Jupem). Walaupun kawasan kajian ini tertumpu kepada negeri Johor, tetapi secara amnya meliputi kawasan di Semenanjung Malaysia yang berkedudukan di latitud bawah 4 darjah. Terdapat dua set data dan maklumat GPS yang digunakan di dalam kajian ini, di mana data-data tersebut merupakan data mentah, input kepada perisian pelarasan dan juga maklumat muktamad.

Data pertama adalah merupakan input kepada perisian pelarasan Geolab bagi dua projek yang dijalankan oleh Seksyen Geodesi, JUPEM dan set data kedua adalah merupakan data-data mentah GPS yang dilakukan pencerapan di atas tanda-tanda aras negeri Johor. Kedua-dua set data ini mempunyai kualiti yang berlainan, di mana penilaian kualiti akan dibuat di akhir bab ini.

## 4.2 SET DATA PERTAMA

Bagi set data pertama, ianya adalah terdiri dari input untuk perisian Geolab. Terdapat dua projek di dalam set data ini, iaitu Projek Cerapan GPS Tanda Aras Jarak Jauh dan Projek Cerapan GPS Tanda Aras Negeri Johor. Kedua-dua cerapan GPS bagi projek ini telah dijalankan di antara tahun 1996-1997, dengan menggunakan peralatan Trimble 4000SSE. Perisian pemprosesan adalah menggunakan GPSurvey Versi 1.2.

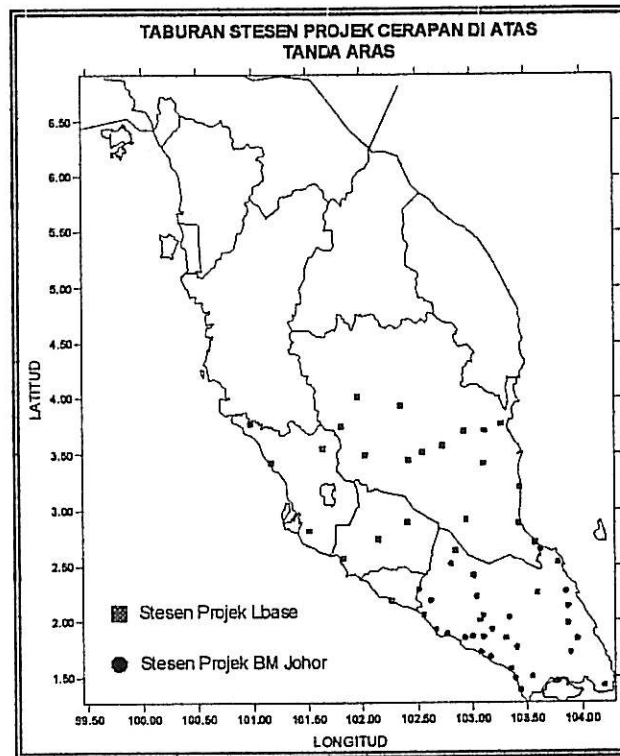
Pencerapan ke atas tanda-tanda aras adalah mengambil masa di antara 2 hingga 3 jam, di mana setiap stesen telah dicerap sebanyak dua sesi. Garis dasar *independent* telah diproses dengan setiap stesen telah diikat atau disambungkan dengan sekurang-kurangnya kepada dua stesen lain. Pemprosesan data telah menggunakan strategi yang diimplementasikan oleh Seksyen Geodesi dengan menggunakan perisian GPSurvey.

Pelarasan jaringan bagi kedua-dua projek tersebut sebelum ini adalah berasaskan kepada datum quasi-WGS84 dengan stesen rujukan adalah terdiri dari stesen GPS dari rangkaian GPS Semenanjung Malaysia 1994. Bagi pelarasan semula rangkaian ini, datum GDM2000 telah digunakan.

Ketinggian Aras Laut Min (ALM) bagi semua tanda aras, sama ada tanda aras biasa atau piawai (SBM) adalah merujuk kepada NGVD dengan nilai-nilai aras adalah dari pelarasan jaringan aras jitu Semenanjung Malaysia.

Taburan stesen-stesen cerapan bagi kedua-dua projek tersebut adalah seperti di Rajah 4.1. Senarai penuh koordinat 3-dimensi dan ketinggian aras purata min bagi set data ini adalah dijadualkan seperti di LAMPIRAN A-1.





**Rajah 4.1 : Taburan Stesen Set Data Pertama**

#### **4.2.1 Projek Cerapan GPS Tanda Aras Jarak Jauh (Set Data IA)**

Projek cerapan ini adalah melibatkan cerapan-cerapan di atas tanda-tanda aras di negeri Pahang, N. Sembilan, Melaka, Selangor dan utara Johor. Cerapan GPS telah mengambil di antara 2 – 3 jam dengan setiap stesen diduduki dengan sekurang-kurangnya dengan dua sesi cerapan. Jarak di antara stesen-stesen cerapan adalah di antara 20 – 90 km. Pecahan stesen-stesen cerapan bagi projek ini adalah seperti di Jadual 4.1.

**Jadual 4.1: Pecahan Stesen Cerapan Set Data IA**

No.	Jenis Stesen	Bilangan
1.	Stesen GPS	5
2.	Tanda Aras/SBM	18
3.	Stesen Eksentrik	2
	Jumlah	25

Pelarasan semula jaringan ini adalah menggunakan perisian Geolab Versi 2.4c, di mana vektor-vektor asalan dari perisian GPSurvey Versi 1.2 telah dieksport ke perisian Geolab. Pelarasan telah menggunakan pendekatan piawai, di mana pelarasan dijalankan dengan membuat kekangan minimum (minimally constraint) untuk mengesan selisih (outlier) di dalam vektor garis dasar. Pelarasan muktamad adalah dengan membuat pelarasan kekangan penuh (over-constraint) dengan koordinat stesen rujukan adalah dirujuk kepada datum GDM2000. Statistik pelarasan adalah seperti di Jadual 4.2 di bawah.

**Jadual 4.2: Statistik Pelarasan Projek Jarak Jauh**

No.	Parameter	Maklumat
1.	Datum	GDM2000
2.	Bilangan vektor garis dasar	40
3.	Jumlah stesen	25
4.	Stesen rujukan	3
5.	Darjah kebebasan	54
6.	Ujian <i>Chi-Square</i>	Lulus
7.	<i>Aposteriori Variance Factor</i>	1.324

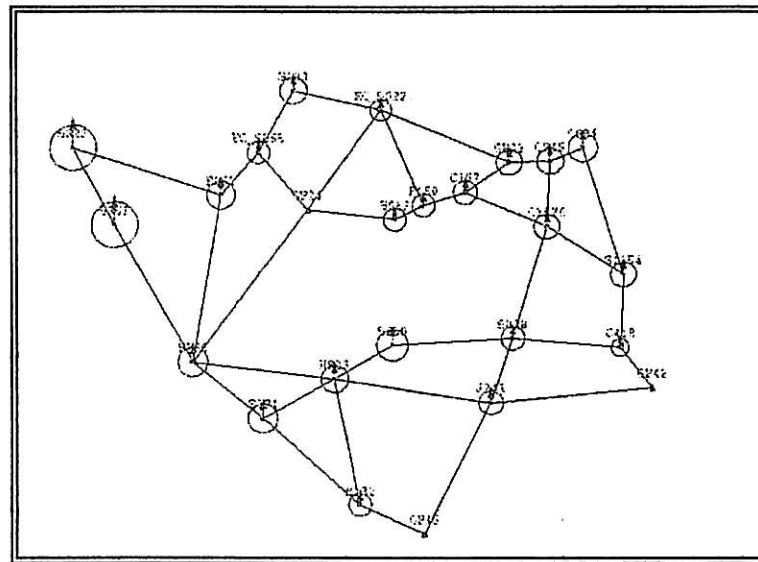
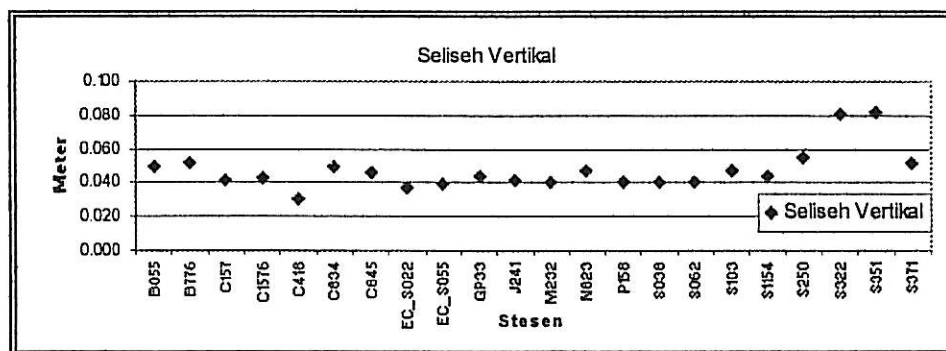
Bagi menilai kejituan dan ketepatan pelarasan ini, nilai-nilai selisih elip dan selisih vertikal adalah menjadi elemen utama. Darjah keyakinan untuk pengiraan kedua-dua selisih ini adalah pada tahap 95%. Jadual 4.3, Jadual 4.4, Rajah 4.2 dan Rajah 4.3 adalah paparan bagi nilai-nilai selisih elipsis dan vertikal.

**Jadual 4.3: Selisih Elip dan Vertikal Set Data IA**

	Paksi Semi-Major (m)	Paksi Semi-Minor (m)	Vertikal (m)
Maksimum	0.065	0.063	0.082
Minimum	0.025	0.024	0.030
Purata	0.038	0.037	0.047
RMS	0.039	0.038	0.040

**Jadual 4.4:** Selisih Elip Relatif dan Vertikal Set Data IA

	Paksi Semi-Major (m)	PPM	Vertikal (m)	PPM
Maksimum	0.059	1.18	0.082	1.42
Minimum	0.019	0.44	0.030	0.52
Purata	0.034	0.76	0.040	0.95
RMS	0.035	0.79	0.043	0.98

**Rajah 4.2:** Selisih Elip (Skala Selisih; 1:5) Set Data IA**Rajah 4.3:** Selisih Vertikal Set Data IA

Berpandukan Rajah 4.2, Rajah 4.3, Jadual 4.3 dan Jadual 4.4, selisih elip dan vertikal adalah di antara 0.025 – 0.82 meter. Secara amnya purata saiz elip adalah pada tahap 0.038 m dan selisih vertikal pula adalah pada 0.047 meter. Selisih elipsis relatif purata bagi garis dasar adalah pada tahap 0.034 m dan vertikal pula pada tahap 0.040 m. Dengan nilai selisih tersebut, kejituan relatif purata di dalam bentuk ppm adalah 0.7 ppm bagi horizontal dan 0.9 ppm bagi vertikal.

Stesen S351 dan S322 di mana kedua-duanya adalah merupakan Tanda Aras Piawai (SBM) seperti di rajah di atas, telah menunjukkan selisih yang agak besar jika dibandingkan dengan stesen-stesen lain. Selisih horizontal adalah pada tahap 6 sentimeter sementara selisih vertikal pada tahap 8 sentimeter. Kedua-dua stesen ini akan diberi perhatian semasa penghitungan ketinggian di dalam Bab V.

#### 4.2.2 Projek Cerapan GPS Tanda Aras Negeri Johor (Set Data IB)

Projek cerapan ini adalah melibatkan cerapan-cerapan di atas tanda-tanda aras di negeri Johor. Cerapan GPS untuk setiap sesi adalah di antara 2 – 3 jam dengan setiap stesen diduduki dengan sekurang-kurangnya dengan dua sesi cerapan. Jarak di antara stesen-stesen cerapan adalah di antara 5 – 35 km. Pecahan stesen-stesen cerapan bagi projek ini adalah seperti di Jadual 4.5.

**Jadual 4.5: Pecahan Stesen Cerapan**

No.	Jenis Stesen	Bilangan
1.	Stesen GPS	21
2.	Tanda Aras/SBM	50
	Jumlah	71

Pelarasan jaringan telah menggunakan strategi seperti di Projek Jarak Jauh. Statistik pelarasan adalah seperti di Jadual 4.6 di bawah.

**Jadual 4.6:** Statistik Pelarasan Set Data IB

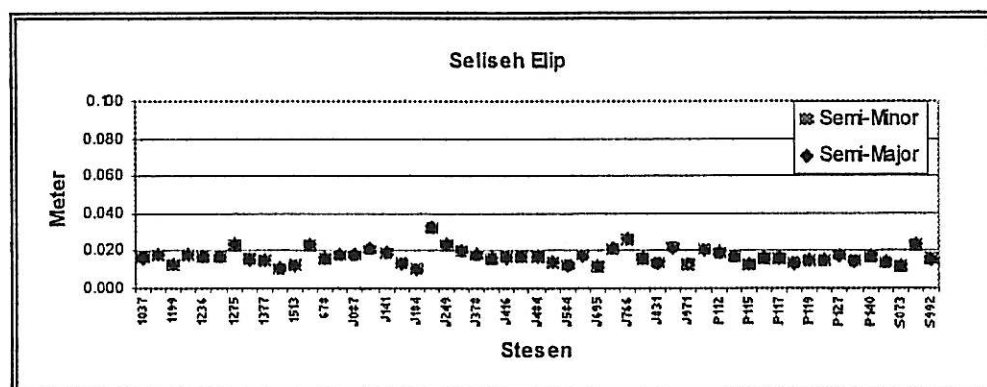
No.	Parameter	Maklumat
1.	Datum	GDM2000
2.	Bilangan vektor garis dasar	247
3.	Jumlah stesen	71
4.	Stesen rujukan	6
5.	Darjah kebebasan	582
6.	Ujian <i>Chi-Square</i>	Lulus
7.	<i>Aposteriori Variance Factor</i>	0.9561

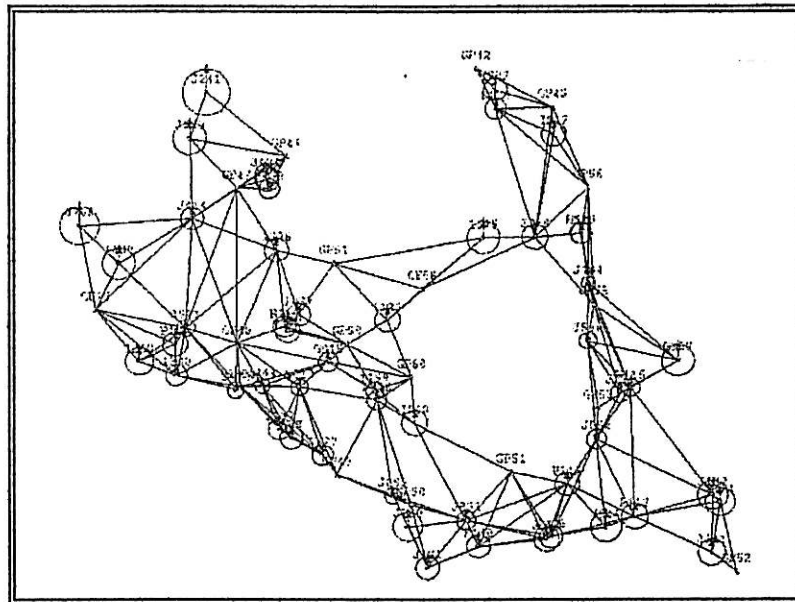
Bagi menilai kejituan dan ketepatan pelarasan ini, nilai-nilai selisih elip dan selisih vertikal adalah menjadi elemen utama. Darjah keyakinan untuk pengiraan kedua-dua selisih ini adalah pada tahap 95%.

**Jadual 4.7:** Nilai Selisih Elip dan Vertikal Set Data IB

	Paksi Semi-Major (m)	Paksi Semi-Minor (m)	Vertikal
Maksimum	0.033	0.032	0.040
Minimum	0.012	0.012	0.012
Purata	0.017	0.016	0.020
RMS	0.018	0.017	0.021

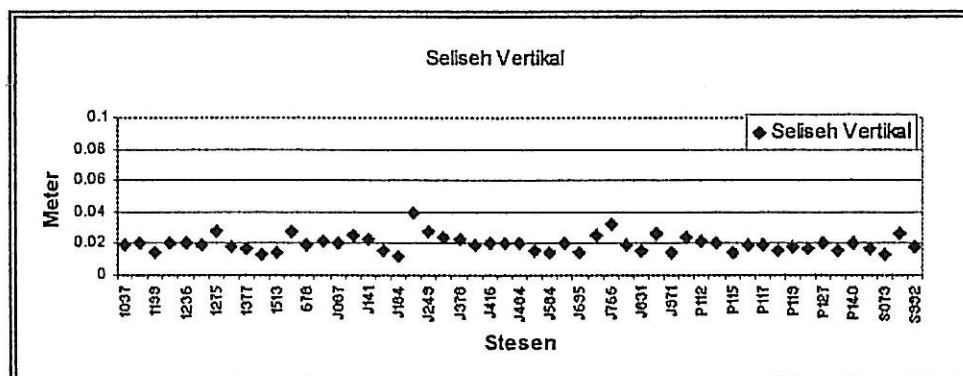
Selisih elip bagi setiap stesen individu adalah seperti yang dipaparkan pada Rajah 4.4 dan 4.5. Magnitud maksimum bagi paksi semi-major adalah 0.033 m dan nilai minimum pula adalah 0.012 m (lihat Jadual 4.7). Purata magnitud adalah 0.017 m dan ini menunjukkan yang setiap stesen mempunyai kejituan yang tinggi.

**Rajah 4.4:** Selisih Elip Set Data IB



**Rajah 4.5:** Selisih Elip (Skala Selisih; 1:5) Set Data IB

Selisih vertikal pula adalah di antara 0.012 dan 0.040 meter dengan nilai purata 0.020 meter. Nilai ini menunjukkan bahawa ianya adalah lebih baik dari set data pertama (lihat Rajah 4.6).



**Rajah 4.6:** Selisih Vertikal Set Data IB

Selisih elipsis relatif (purata) bagi semua garis dasar adalah pada tahap 0.017 m dan vertikal pula pada tahap 0.02 m. Dengan nilai selisih tersebut, kejituan relatif purata di dalam bentuk ppm adalah 1.1 ppm bagi horizontal dan 1.4 ppm bagi vertikal (lihat Jadual 4.8).

**Jadual 4.8: Selisih Elip Relatif dan Vertikal Set Data IB**

	<b>Paksi Semi-Major (m)</b>	<b>PPM</b>	<b>Vertikal (m)</b>	<b>PPM</b>
Maksimum	0.033	7.88	0.040	9.02
Minimum	0.008	0.29	0.009	0.34
Purata	0.017	1.18	0.020	1.40
RMS	0.017	1.59	0.021	1.86

### 4.3 SET DATA KEDUA

#### 4.3.1 Pengenalan

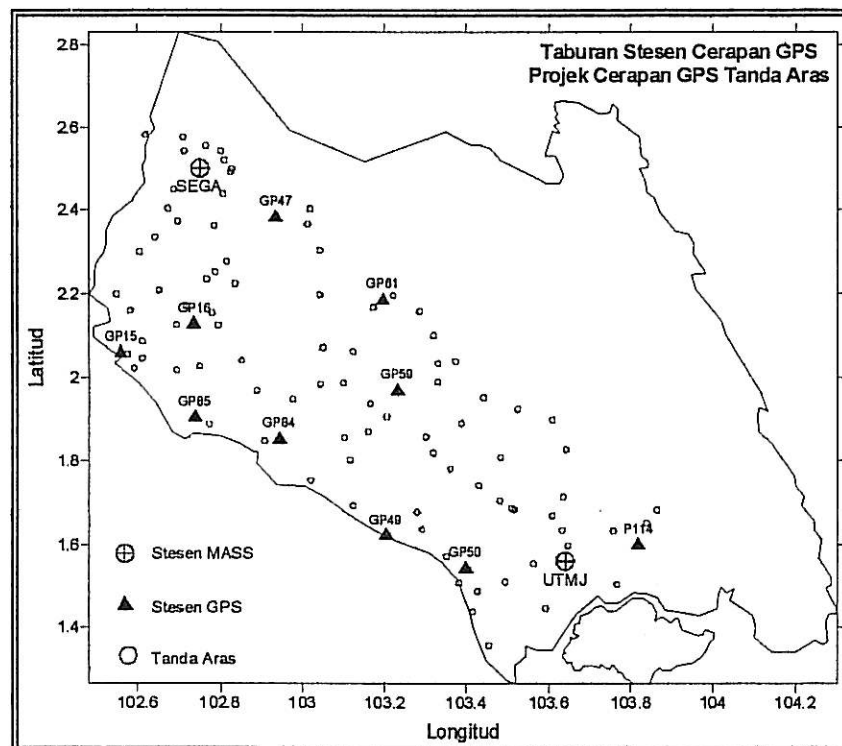
Set data kedua adalah merupakan data-data mentah yang diperolehi dari Jupem. Data-data ini adalah merupakan data GPS bagi cerapan di atas tanda aras negeri Johor yang telah dicerap pada bulan April dan Disember 2003. Cerapan telah dilakukan dengan menggunakan peralatan Trimble dengan receiver terdiri dari siri 4000SSE/I dan antena terdiri dari siri *Compact L1/L2 with Ground Plane*.

Sebanyak 96 stesen telah dicerap dengan 10 stesen adalah terdiri dari stesen-stesen GPS sedia ada, dan selebihnya iaitu 86 stesen adalah terdiri dari tanda aras dari rangkaian aras jitu Semenanjung Malaysia. Beberapa langkah telah diambil bagi penghasilan nilai koordinat muktamad bagi stesen-stesen cerapan. Seksyen ini akan menerangkan strategi pemprosesan dan pelarasan data secara terperinci, bermula dari penyediaan, pemprosesan, analisis dan pelarasan.

#### 4.3.2 Penyediaan Data

Data-data yang diterima adalah terdiri dari data mentah di dalam format Trimble DAT. Data dari 96 stesen yang dicerap dan dua stesen *Malaysia Active GPS System* (MASS) telah digunakan.

Daripada 88 tanda aras yang telah dicerap hanya 44 tanda aras sahaja yang mempunyai nilai aras laut min. Setiap sesi cerapan telah mengambil masa 1jam 30 minit, dengan setiap stesen telah dicerap sekurang-kurangnya dua kali secara berterusan. Strategi pencerapan yang telah dilakukan adalah dengan menetapkan dua atau tiga receiver mencerap di atas stesen GPS secara berterusan di antara 5 – 6 jam. Bagi cerapan di atas tanda aras pula telah mengambil masa 1 jam 30 minit untuk satu sesi.



**Rajah 4.7:** Taburan Stesen Set Data II

Untuk tujuan kajian ini, data-data dari sesi yang berterusan telah digabungkan menjadi satu fail dengan menggunakan program MULTIDAT.EXE. Dengan itu bagi setiap stesen hanya akan ada satu sesi cerapan dengan panjang cerapan di antara 3 jam ke 4 jam 30 minit. Maklumat mengenai stesen, receiver dan lain-lain adalah dijadualkan seperti di Jadual 4.9 di bawah.



**Jadual 4.9: Maklumat Set Data II**

<b>No.</b>	<b>Perkara</b>	<b>Maklumat</b>
1.	Jumlah tanda aras	86
2.	Jumlah stesen GPS	10
3.	Jumlah stesen MASS	2
4.	Jenis Receiver	Trimble 4000SSE/I
5.	Jenis Antena	Trimble Compact/Microstrip
6.	Tanda aras dengan nilai MSL	44
7.	Jumlah hari cerapan	13

### 4.3.3 Pemprosesan Data

Perisian yang digunakan untuk pemprosesan data-data GPS adalah menggunakan Trimble Geomatic Office (TGO) Versi 1.50. Perisian ini adalah tersedia dalam bentuk pakej, di mana ianya terdiri dari program WAVE (*Weighted Ambiguity Vector Estimator*), Pelarasan Jaringan, transformasi koordinat, Mission Planning (Plan & Quick Plan) dan lain-lain program yang berkaitan dengan disiplin GIS.

*Weighted Ambiguity Vector Estimator* (WAVE) adalah merupakan program utama yang digunakan untuk pemprosesan garis dasar GPS (vektor), dengan memberikan pengguna untuk memilih strategi yang bersesuaian. Di samping itu perisian ini juga boleh menerima efemeris jitu dalam format SP3 (Ascii) atau EF18 (Binary) sebagai gantian efemeris *Broadcast*.

#### 4.3.3.1 Pembinaan Projek

Bagi kajian ini data-data telah diproses secara harian, di mana terdapat 9 projek yang telah digunakan iaitu D108, D109, D110, D112, D113, D114, D117, D118 dan REOBS dengan jumlah stesen cerapan seperti di Jadual 4.10.

**Jadual 4.10: Maklumat Set Data II**

No.	Sesi	Jumlah Stesen GPS	Jumlah Tanda Aras
1.	D108	3	8
2.	D109	3	17
3.	D110	2	15
4.	D112	3	7
5.	D113	3	13
6.	D114	1	10
7.	D117	2	11
8.	D118	3	12
9.	D316, 317, 318, 319 & 320		Cerapan Semula

Pembinaan projek di dalam perisian TGO adalah mandatori jika sesuatu pemprosesan data-data GPS hendak dilakukan. Pembinaan projek adalah mengikut apa yang telah dicadangkan oleh TGO melalui *Setup Wizard*. Pertanyaan yang akan dibuat oleh perisian ini adalah seperti di bawah:-

- a) Sistem koordinat yang digunakan untuk tujuan pemetaan.

Untuk tujuan kerja-kerja pemetaan unjuran yang akan digunakan perlulah dipilih daripada senarai yang disediakan, untuk Semenanjung Malaysia pilihan yang boleh dilakukan adalah MALAYSIA GRID.

Jika pemilihan tidak dilakukan maka perisian akan menggunakan unjuran UTM dengan ellipsoid WGS84 sebagai rujukan bagi tujuan pemetaan.

- b) Model Geoid

Jika projek melibatkan pengiraan ketinggian ortometrik, model geoid yang boleh dipilih adalah model EGM96.

#### 4.3.3.2 Pra-Pemprosesan

Pra-pemprosesan di dalam TGO boleh dibahagikan kepada tiga bahagian seperti di bawah:-

1. Import data DAT ke dalam projek
2. Memasukkan koordinat rujukan untuk salah satu stesen
3. Melihat dan membuat penyuntingan data dengan menggunakan bantuan modul TIMELINE.

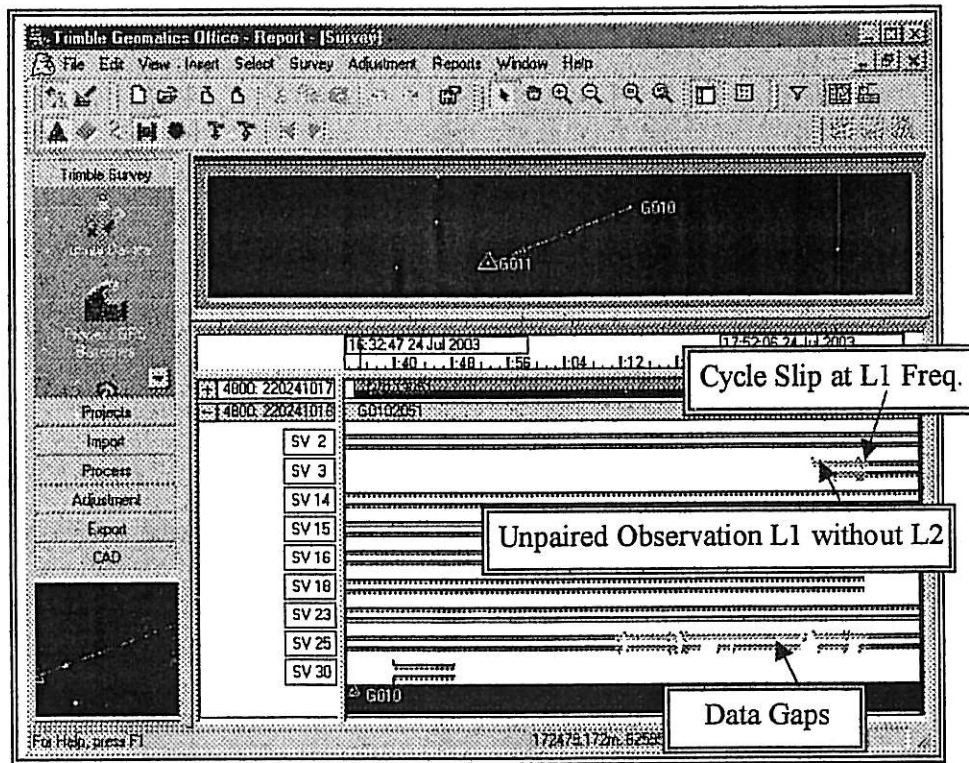
Data DAT boleh diimport melalui ikon yang disediakan dan ianya juga menggunakan konsep *Wizard*. Kekotak dialog akan dipaparkan untuk pengesahan nama stesen, ketinggian antenna, jenis antenna dan receiver.

Koordinat rujukan perlulah dimasukkan ke dalam salah satu stesen bagi tujuan pemprosesan data (pelarasan). WAVE telah mengklafikasikan kejituan bagi setiap stesen rujukan sebagai:

- a) Control Quality - Jaringan Kawalan
- b) Survey Quality - Koordinat dari *Fixed Solution*
- c) Mapping Quality - Koordinat dari *Float Solution*
- d) Unknown - Koordinat dari *Point Position* atau *Autonomous*

Di dalam kajian ini koordinat stesen rujukan GPS telah menggunakan koordinat yang dirujuk kepada datum GDM2000.

Di dalam TGO, program TIMELINE digunakan untuk melihat kualiti data sebelum pemprosesan di lakukan. Lazimnya plotan akan menggunakan penjejakan satelit dengan fasa pembawa dan ianya akan menunjukkan *Cycle Slips*, *Gaps* dan *Unpaired Observation*.



Rajah 4.8: Contoh Plotan TIMELINE Untuk Penyuntingan Data

Jika-jika terdapat *Gaps* dan *Unpaired Observation* yang banyak, ianya boleh di tandakan (Marked) terlebih dahulu sebelum pemprosesan dijalankan. Walau bagaimanapun *Unpaired Observation* dan *Cycle Slips* akan dihapuskan semasa pemprosesan data dilakukan oleh WAVE (Data Screening dan Triple Differencing). Di dalam Rajah 4.8 di atas data-data yang telah ditandakan adalah data-data yang berwarna kelabu (grey).

#### 4.3.3.3 Pemprosesan

Pemproses WAVE akan melakukan beberapa kombinasi dari *observables* untuk mendapatkan hasil yang mempunyai kualiti yang terbaik. Hasil (*solution*), adalah berbeza dan bergantung kepada kualiti data dan juga strategi yang akan digunakan. WAVE pada asasnya mampu untuk menghasilkan penyelesaian *FIXED*, *FLOAT* dan *CODE* dengan menggunakan frekuensi *L1*, *L2*, *Widelane*, *Narrow Lane* atau pun *Iono-Free (L3)*.

Bagi garis dasar yang mempunyai jarak kurang dari lima kilometer, penyelesaian terbaik adalah dengan menggunakan *LI Fixed*, dan untuk garis dasar jarak sederhana dan jauh (sehingga 50 km) penyelesaian *Iono Free Fixed* adalah pilihan terbaik. Penyelesaian *Iono Free Float* mungkin yang baik bagi garis dasar yang ekstrem panjang (*very long baseline*).

Penggunaan strategi *Trimble Default* adalah baik untuk tujuan kerja-kerja yang berkejituan tinggi, sementara lain-lain pilihan akan memberi kelebihan tersendiri. Pemprosesan data untuk kajian ini telah menggunakan strategi yang telah digunakan oleh Seksyen Geodesi, Jupem dengan parameter-parameter seperti di Jadual 4.11. Pemprosesan data dan juga penerimaan penyelesaian garis dasar adalah berpandukan kepada Pekeliling KPUP 6/99, di mana *reja*, *ujian chi-square* dan RMS adalah menjadi elemen utama, seperti yang digariskan di dalam pekeling tersebut.

**Jadual 4.11: Parameter Pemprosesan Data GPS**

No.	Parameter	Nilai
1.	Sela masa data	15 saat
2.	Ketinjahan minimum	15 Darjah
3.	Efemeris	Siaran
4.	Model Troposfera	Hopfield
5.	Model Ionosfera	Klobochure
6.	Penyelesaian ganda-dua	<i>Fixed</i>
7.	Pemilihan garis dasar	<i>Independent</i>

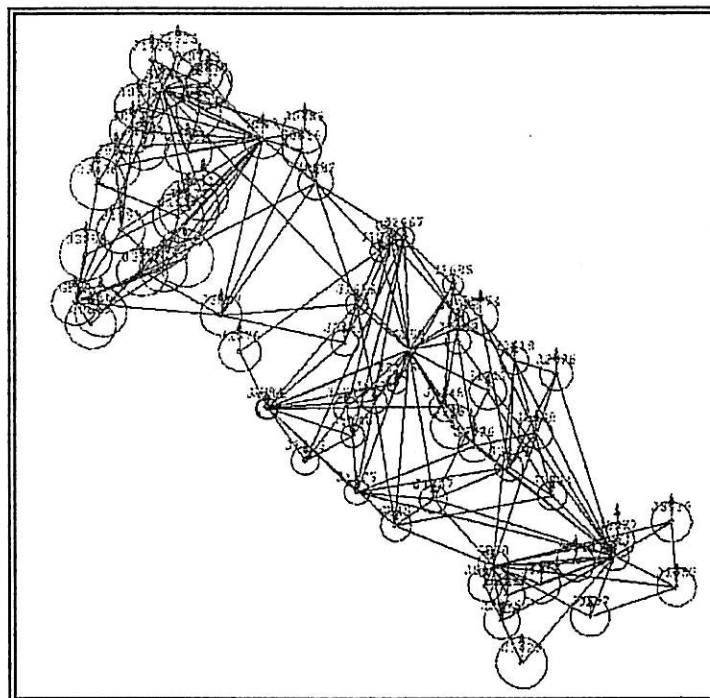
#### 4.3.3.4 Pelarasan Jaringan

Untuk pelarasan jaringan, perisian Geolab 2.4c telah digunakan. Sebanyak 276 garis dasar telah diimport dari projek TGO. Beberapa langkah telah dijalankan sebelum penerimaan sesuatu garis dasar. Pelarasan kekangan minimum telah dijalankan secara iteratif bagi mengenal pasti garis dasar dan juga stesen-stesen yang boleh dikategorikan sebagai *outlier*.

Reja piawai (Standardized Residuals) telah dijadikan rujukan utama di dalam mengetepikan garis-garis dasar yang tidak menepati kualiti pelarasan. Di dalam proses penapisan ini, sebanyak 81 garis dasar telah dikeluarkan bersama 27 bilangan stesen. Pemodelan selisih piawai juga telah diberikan kepada setiap garis dasar dengan 0.3 ppm bagi setiap komponen vektor garis dasar.

**Jadual 4.12:** Statistik Pelarasan Kekangan Minimum

No.	Parameter	Maklumat
1.	Datum	GDM2000
2.	Bilangan vektor garis dasar	195
3.	Jumlah stesen	71
4.	Stesen rujukan	1
5.	Darjah kebebasan	375
6.	<i>Aposteriori Variance Factor</i>	0.8505



**Rajah 4.9:** Selisih Elip dan Vertikal (Skala Elip 1:10)

Dapat dilihat dari Rajah 4.9, di mana selisih elip dan vertikal semakin membesar apabila berjauhan dengan stesen rujukan. Ini adalah trend yang biasa

dilihat bagi setiap pelarasan yang menggunakan strategi kekangan minimum. Tujuan pelarasan ini dijalankan adalah lebih kepada pengesanan selisih yang terdapat di dalam jaringan.

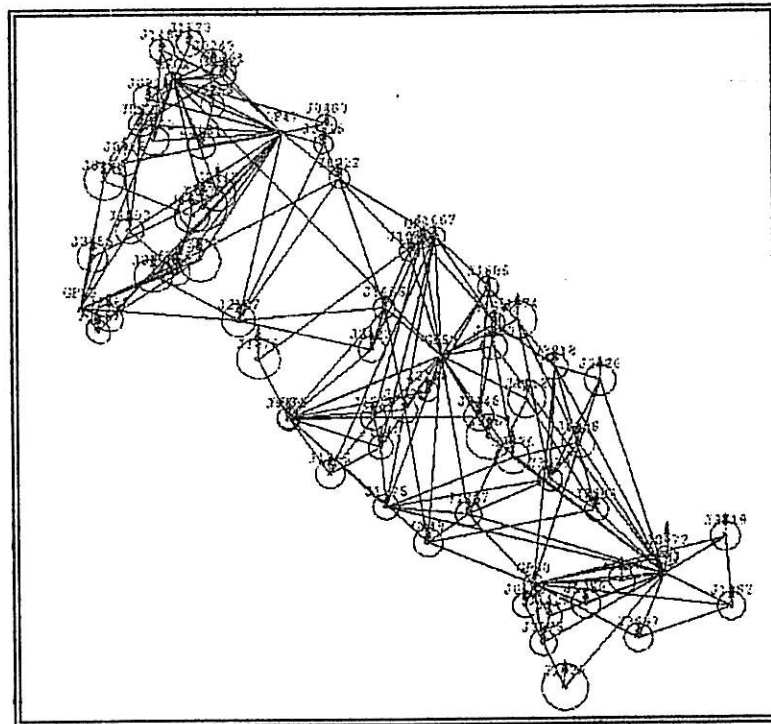
Pelarasan muktamad bagi set data ini adalah dengan menjalankan pelarasan kekangan penuh. Empat stesen telah dijadikan sebagai stesen rujukan, di mana pemilihan stesen tersebut adalah berasaskan perbandingan koordinat dari pelarasan kekangan minimum.

Pelarasan telah dijalankan secara iteratif bermula dengan dua stesen rujukan. Hasil setiap pelarasan telah disemak bagi mengenal pasti jika terdapat sebarang deformasi terhadap garis dasar jaringan.

**Jadual 4.13:** Statistik Pelarasan Kekangan Penuh

No.	Parameter	Maklumat
1.	Datum	GDM2000
2.	Bilangan vektor garis dasar	195
3.	Jumlah stesen	71
4.	Stesen rujukan	4
5.	Darjah kebebasan	384
6.	<i>Aposteriori Variance Factor</i>	0.8696

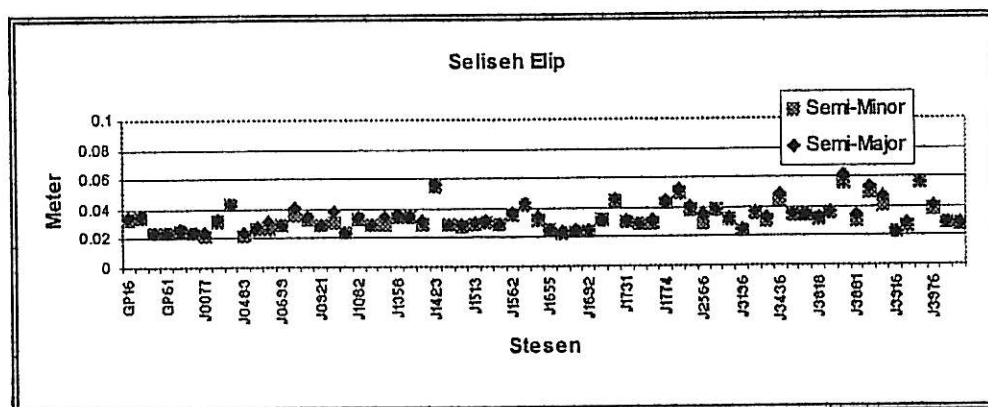
Jadual 4.13 dan Rajah 4.10, menunjukkan statistik dan paparan selisih elip bagi pelarasan kekangan penuh. Tiada garis dasar yang dikeluarkan dari pelarasan dan ujian Chi-Square telah lulus. Paparan di atas juga menunjukkan bahawa selisih bagi setiap stesen telah mengecil jika dibandingkan dengan paparan Rajah 4.9 bagi selisih kekangan minimum.



**Rajah 4.10: Selisih Elip dan Vertikal (Skala Elip 1:10)**

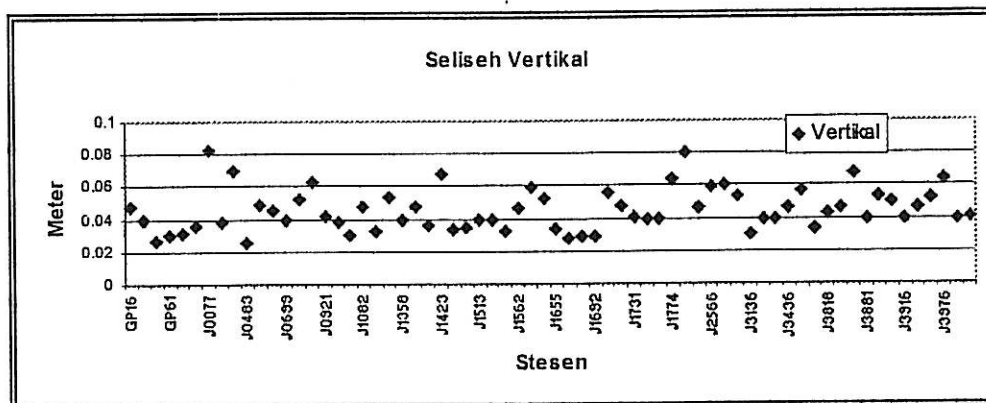
**Jadual 4.14: Nilai Selisih Elip dan Vertikal Set Data II**

	Paksi Semi-Major (m)	Paksi Semi-Minor (m)	Vertikal
Maksimum	0.061	0.057	0.083
Minimum	0.023	0.023	0.027
Purata	0.035	0.033	0.045
RMS	0.036	0.034	0.047



**Rajah 4.11: Selisih Elip Set Data II**





Rajah 4.12: Selisih Vertikal Set Data II

Rajah 4.11, Rajah 4.12 dan Jadual 4.14, menunjukkan bahawa selisih individu bagi setiap stesen adalah pada tahap 0.035 meter bagi horizontal dan 0.045 bagi vertikal. Senarai penuh koordinat dan ketinggian bagi stesen-stesen set data II adalah seperti di LAMPIRAN A-2.

Jadual 4.15: Selisih Elip Relatif dan Vertikal Set Data II

	Paksi Semi-Major (m)	PPM	Vertikal (m)	PPM
Maksimum	0.061	7.20	0.085	23.53
Minimum	0.011	0.27	0.019	0.30
Purata	0.035	1.99	0.046	2.74
RMS	0.037	2.26	0.048	3.54

Selisih relatif horizontal purata bagi semua garis dasar adalah pada kadar 0.037 m dan vertikal pula pada tahap 0.048 m. Sementara kejituan relatif purata di dalam bentuk ppm adalah 1.99 ppm bagi horizontal dan 2.74 ppm bagi vertikal (lihat Jadual 4.15).

## **BAB 5**

### **PENGHITUNGAN KETINGGIAN DAN ANALISA**

#### **5.1 PENGENALAN**

Penghitungan ketinggian di dalam kajian ini telah dilakukan dengan menggunakan kaedah mutlak dan juga relatif. Model geoid jitu Semenanjung Malaysia WMG03A telah digunakan di dalam keseluruhan penghitungan. Di dalam Bab V ini, kaedah kesepadanan geoid juga telah dilakukan bagi menguji kesesuaian penggunaannya di Semenanjung Malaysia.

Analisis hasil dari penghitungan bagi kaedah-kaedah yang dinyatakan di atas telah dilakukan dengan keseluruhan analisis adalah berasaskan daripada statistik yang telah diperolehi.

#### **5.2 MODEL GEOID**

Model geoid jitu Semenanjung Malaysia (WMG03A) adalah merupakan produk daripada projek *Airborne Gravity Survey* yang telah dijalankan oleh Jupem. Tujuan projek ini adalah untuk menghasilkan data-data graviti pada sela 5 km dan seterusnya membolehkan penghitungan model geoid jitu Semenanjung Malaysia dilakukan.

### 5.2.1 Model WMG03A

Model geoid ini telah dihitung berasaskan kepada data-data dari graviti dan model *terrain* dari:-

- i. *Airborne*
- ii. *Terrestrial*
- iii. *Satelit*
- iv. *Model Terrain*

Metodologi yang digunakan adalah berasaskan kepada teknik *remove-restore* dan anomali keupayaan graviti (*Anomalous Gravity Potential*) telah dipecahkan kepada tiga bahagian, iaitu:-

$$T = T_{EGM96} + T_{RTM} + T_{res} \quad (5.1)$$

di mana,

$T_{EGM96}$  adalah anomali keupayaan graviti dari medan global EGM96

$T_{RTM}$  adalah anomali keupayaan graviti dari *Residual Terrain Model*, RTM.

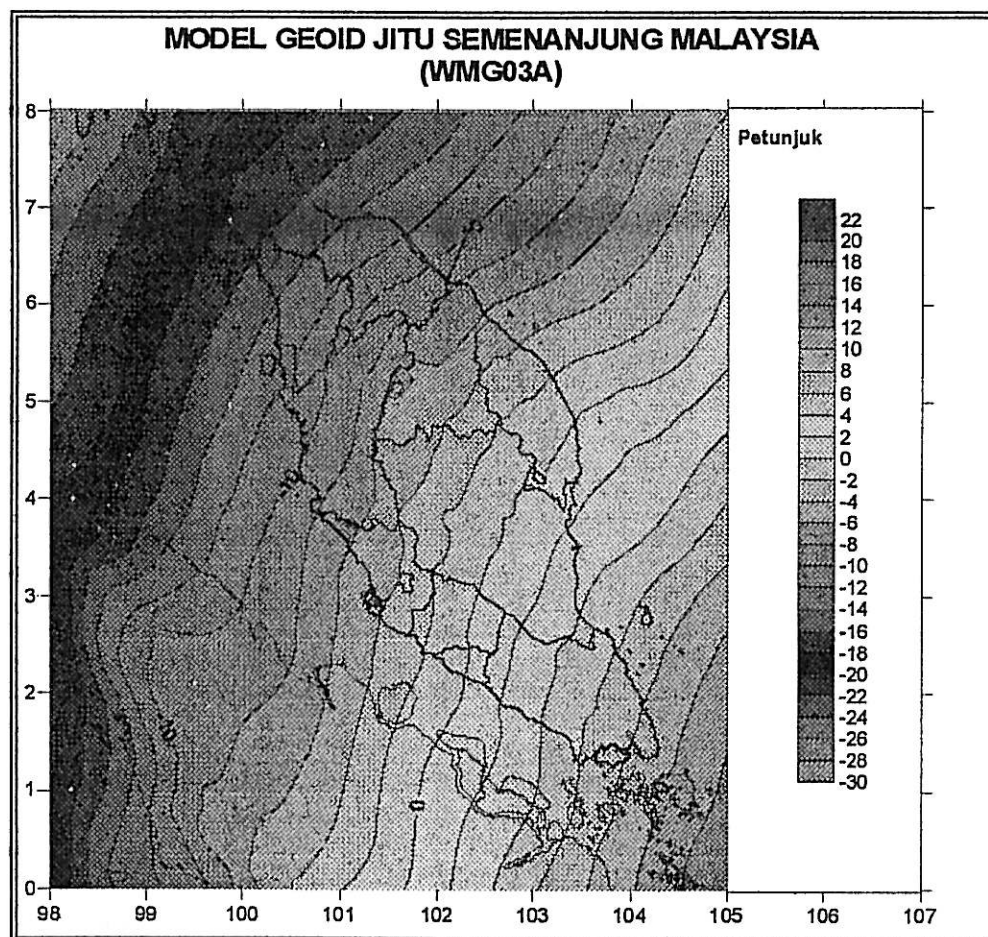
$T_{res}$  adalah keupayaan yang tidak boleh dimodelkan dari *residual gravity field*.

Bahagian ini dihitung dengan menggunakan *spherical FFT*.

Hasil daripada teknik ini telah menghasilkan model geoid graviti yang merujuk kepada sistem rujukan global. Semua penghitungan adalah menggunakan pakej GRAVSOFIT dari KMS Denmark. Secara amnya proses penghitungan model geoid graviti adalah seperti susunan di bawah:-

1. Menyediakan grid rujukan untuk medan rujukan EGM96.
2. Pengumpulan dan percantuman data graviti *terrestrial* dan model ketinggian digital(DEM).
3. Membuat pembetulan terrain ke atas data graviti *airborne* dan *terrestrial*.

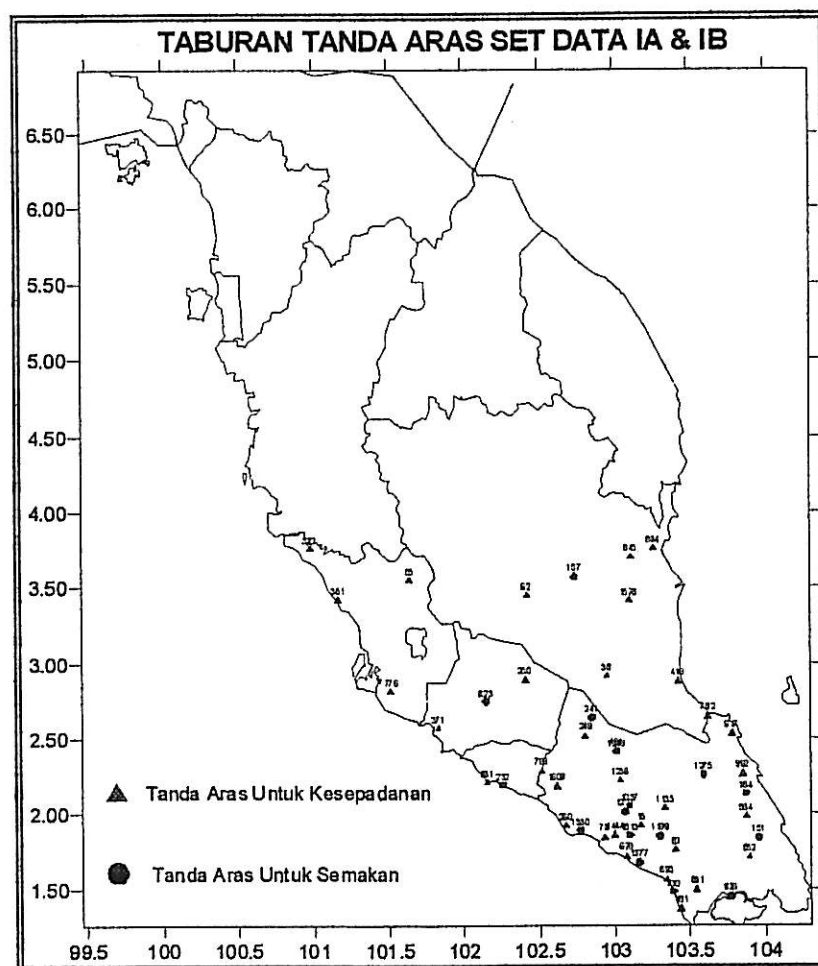
4. Membuat pengiraan *Downward Continuation* terhadap data graviti *airborne* ke atas geoid dan seterusnya percantuman dengan data graviti dari satelit altimetri.
5. Penentuan geoid dengan menggunakan kaedah *Fast Fourier Transformation* (FFT) sferikal.
6. Pengiraan dan seterusnya memasukkan kembali pembetulan *terrain* dan kesan dari model EGM96 untuk penghasilan model geoid graviti muktamad.



**Rajah 5.1 : Model Geoid Jitu Semenanjung Malaysia (WMG03A)**

### 5.3 PENGHASILAN DAN PENGUJIAN MODEL KESEPADANAN GEOID DENGAN SET DATA I

Sebanyak 53 tanda aras (biasa/piawai) dari set data IA dan IB telah digunakan. Seperti yang dinyatakan di dalam Bab 4, jarak di antara tanda-tanda aras ini adalah di antara 20 – 80 km. Daripada keseluruhan jumlah tanda aras tersebut, 15 telah dipilih sebagai tanda aras semakan. Sementara itu 38 tanda aras telah digunakan bagi tujuan penyepadanan model geoid WMG03A dengan model  $N_{GPS}$ .



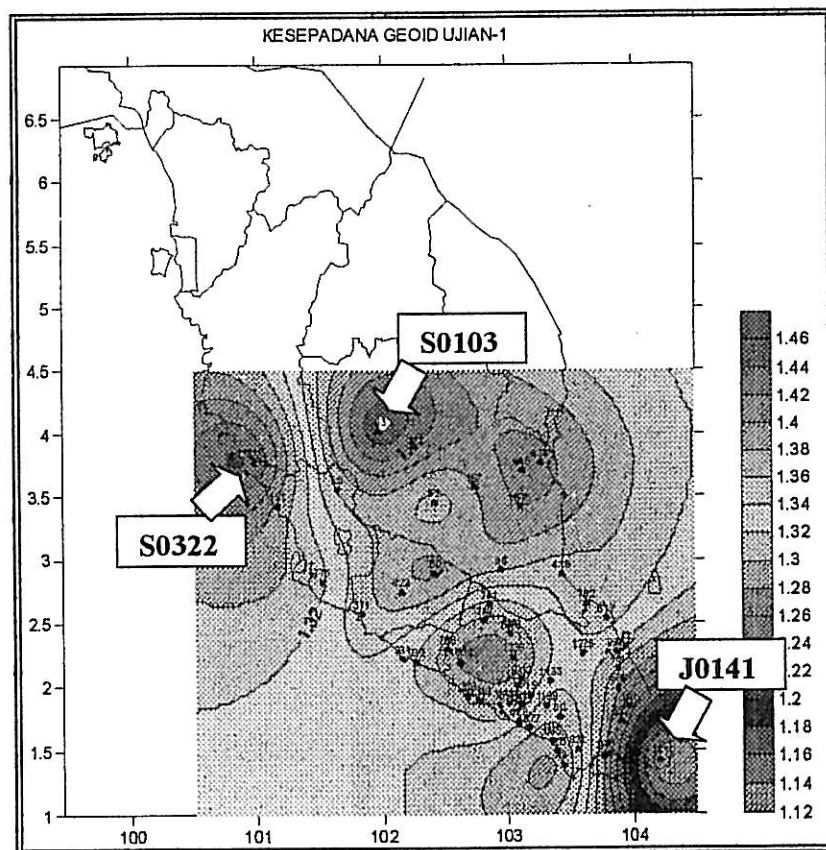
Rajah 5.2 : Taburan Tanda Aras Kesepadanan dan Semakan

Pemilihan tanda aras semakan telah dibuat secara rawak dan berkedudukan di antara tanda-tanda aras untuk penyepadanan. Dengan mempunyai tanda aras

semakan yang tidak mempunyai korelasi dengan model geoid kesepadanan, maka ketepatan dan kejutuan hasil geoid kesepadanan akan dapat dinilai dengan lebih tepat.

### 5.3.1 Pra-Penghitungan Model Geoid Kesepadanan

Proses ini telah menggunakan semua 38 tanda aras bagi tujuan penyepadanan model geoid WMG03A. Pakej program GRAVSOFT telah digunakan dengan menggunakan kaedah *collocation* dengan formula (3.14 dan 3.15). Hasil dari program Geogrid dan Geoip adalah merupakan model geoid kesepadanan dan beberapa fail statistik yang lain.



Rajah 5.3 : Plotan Pembetulan Di antara  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$  ( $\epsilon$ )

**Jadual 5.1 : Statistik Pra-Kesepadanan  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$** 

Statistik	Purata	$\sigma$	Min	Maks
$N_{\text{gps}}$ Untuk Tanda aras asal	3.699	3.706	-5.638	9.936
$N_{\text{grav}}$ Interpolasi dari WMG03A	2.374	3.718	-6.828	8.858
Bias Datum Pugak ( $\epsilon$ )	1.324	0.072	1.078	1.484

Daripada Rajah 5.3 dan Jadual 5.1, kejituan kesepadanan di antara  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$  yang diperolehi adalah 0.072 m. Nilai ini agak besar dengan matlamat kejituan pada kadar 1-2 sentimeter. Walau bagaimana pun terdapat beberapa "Bull eyes" di dalam plotan di Rajah 5.3 di mana ianya melibatkan tanda aras J0141, S0103 dan S0322.

Adalah sukar untuk menentukan trend selisih yang ditunjukkan di dalam rajah di atas, dengan Semenanjung Malaysia adalah dikelilingi oleh laut, dan dengan itu akan terdapat kecerunan permukaan laut (Sea Surface Slope-SSS). Di samping itu Rangkaian Aras Jitu Semenanjung Malaysia telah dilaraskan dengan menggunakan Tolok Air Pasang Surut, di Pelabuhan Klang sebagai stesen rujukan untuk pelarasan kekangan minimum.

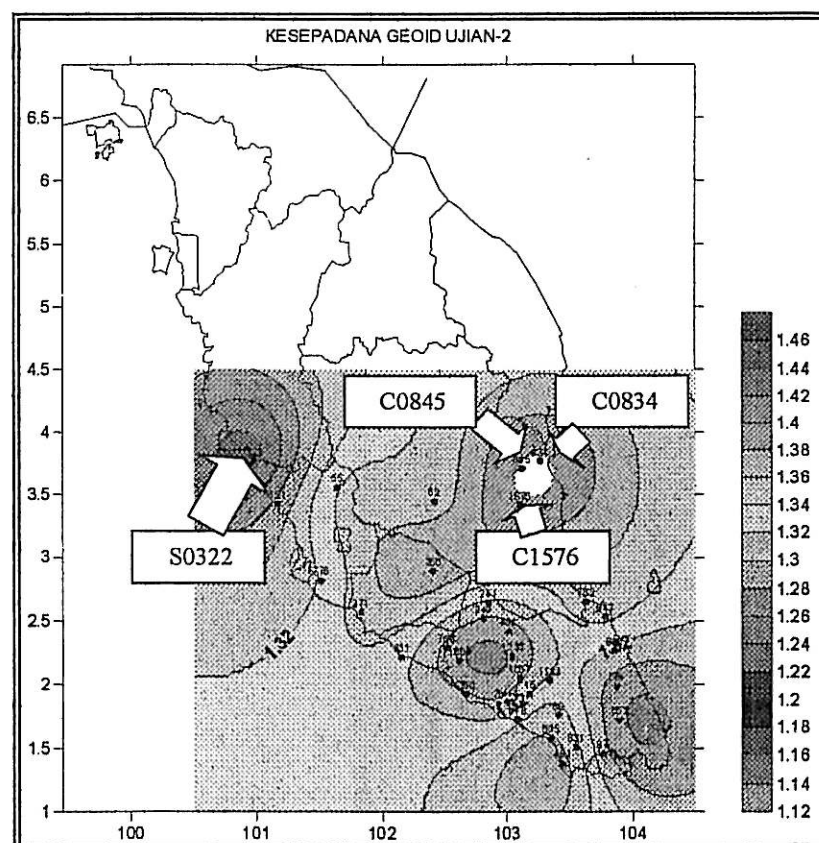
Walaupun bagaimana pun tanda aras piawai S0332 yang hampir dengan Pelabuhan Klang, mempunyai selisih ketinggian yang besar berpandukan dari Rajah 5.3, dengan ini kesan SSS bukanlah menjadi sebab utama mengapa terdapat pembetulan yang besar bagi kawasan tersebut. Bagi tanda aras J0141, nilai tersebut adalah merupakan nilai ukuran aras kelas kedua dan larian tersebut adalah merupakan larian aras terbuka. Tanda aras piawai S0103 tidak dapat dikenal pasti tetapi kemungkinan selisih di dalam penentuan ketinggian antenna GPS (memberi kesan langsung kepada nilai  $h$  stesen), selisih ukuran aras ataupun selisih di dalam model geoid.

### 5.3.2 Proses Hitungan Iteratif

Proses penghitungan model geoid kesepadanan telah dijalankan secara iteratif, di mana untuk penghitungan yang kedua tanda aras S0103 dan J0141 telah dikeluarkan dari proses kesepadanan. Analisis telah dilakukan terhadap hasil hitungan tersebut dan didapati masih terdapat trend selisih seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 5.2 dan Rajah 5.4.

**Jadual 5.2 : Statistik Kesepadanan  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$  (Iterasi I)**

Statistik	Purata	$\sigma$	Min	Maks
$N_{\text{gps}}$ Untuk Tanda aras asal	3.676	3.545	-5.638	8.530
$N_{\text{grav}}$ Interpolasi dari WMG03A	2.349	3.538	-6.828	7.250
Bias Datum Pugak ( $\epsilon$ )	1.327	0.054	1.190	1.412



**Rajah 5.4 : Plotan Pembetulan Di antara  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$  ( $\epsilon$ )-Iterasi 2**



Proses hitungan iteratif kali kedua ini telah menghasilkan nilai sisihan piawai yang lebih baik dari hitungan yang pertama dengan nilai 0.054 m berbanding 0.072 m. Trend selisih masih menunjukkan stesen S0322 mempunyai pembetulan yang kecil sementara terdapat trend yang menunjukkan ketinggian geoid yang sama, (kawasan putih) bagi kawasan yang dilingkungi oleh tanda C0845, C0834 dan C1576.

Semakan terhadap data-data stesen-stesen tersebut menunjukkan perbezaan di antara  $N_{gps}$  dan  $N_{grav}$  bagi ketiga-tiga stesen adalah hampir sama seperti di Jadual 5.3. Dengan itu kaedah *collocation* telah menghitung nilai yang sama bagi grid-grid kawasan tersebut.

**Jadual 5.3 :** Perbandingan  $N_{grav}$  dan  $N_{gps}$  bagi C1576, C0834 & C0845

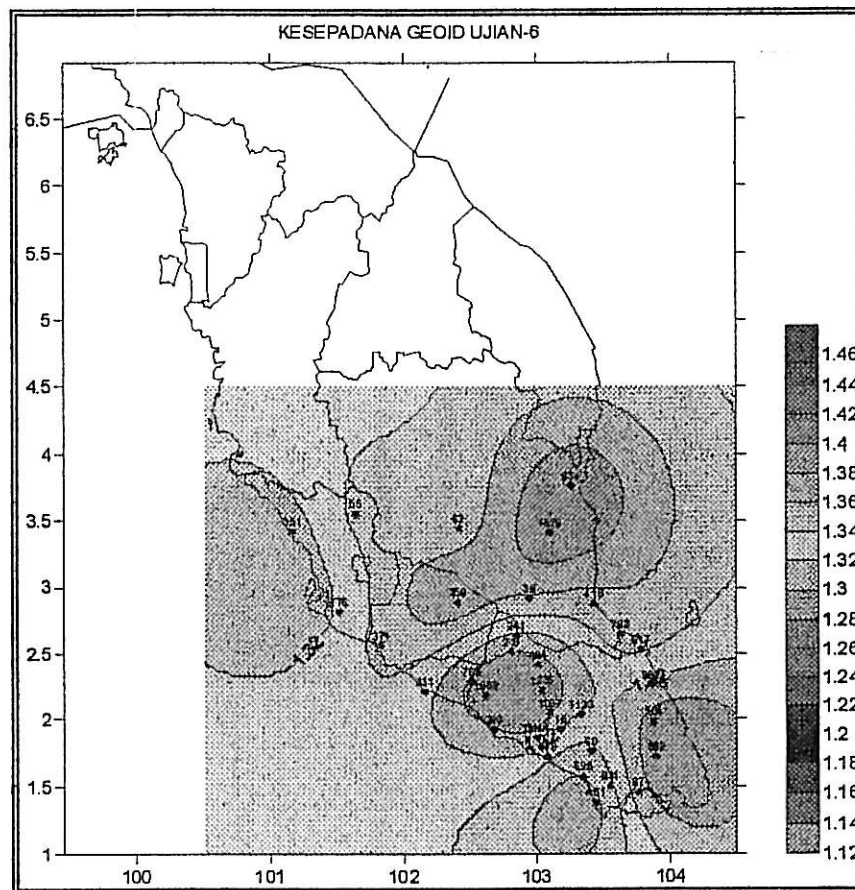
Stesen	$N_{Grav}$ (m)	$N_{Gps}$ (m)	Beza (m)
C1576	1.691	3.098	-1.407
C0834	1.525	2.937	-1.412
C0845	1.150	2.561	-1.411

### 5.3.3. Model Kesepadanan WMG03A-F

Sebanyak enam hitungan telah dijalankan sebelum model yang dinamakan sebagai WMG03A-F dihasilkan. Pengujian keenam telah menggunakan 34 stesen dengan mengeluarkan tanda aras S0322 dan C0845. Tujuan pengeluaran tanda aras C0845 adalah lebih kepada tujuan semakan dan pengesahan pembetulan bagi kawasan tersebut.

**Jadual 5.4 :** Statistik Kesepadanan  $N_{grav}$  dan  $N_{gps}$  (Iterasi 6)

Statistik	Purata	$\sigma$	Min	Maks
$N_{gps}$ Untuk Tanda aras asal	3.983	3.250	-4.420	8.530
$N_{grav}$ Interpolasi dari WMG03A	2.655	3.254	-5.718	7.250
Bias Datum Pugak ( $\epsilon$ )	1.328	0.048	1.243	1.412



**Rajah 5.5 :** Plotan Pembetulan Di antara  $N_{\text{grav}}$  dan  $N_{\text{gps}}$  ( $\epsilon$ ) – Iterasi 6

Dari Jadual 5.4, nilai sisihan piawai bagi nilai purata telah bertambah baik pada kadar 0.048 m. Sementara Plotan di Rajah 5.5 menunjukkan taburan pembetulan yang lebih sekata dan di antara 1.243 m dan 1.412 m bagi keseluruhan kawasan grid, dan di antara 1.300 m ke 1.390 m bagi kawasan daratan.

Perbezaan pembetulan 9 cm bagi kawasan daratan menunjukkan terdapat selisih sama ada di dalam rangkaian aras, model geoid, kejituan penghasilan ketinggian elipsoid ( $h$ ) atau pun berpunca dari kecerunan permukaan laut. Dengan model geoid yang dihasilkan berkejituan 2 sm dengan itu, punca selisih adalah datang dari 3 sebab lain yang dinyatakan di atas.

Rangkaian Aras Jitu Semenanjung Malaysia adalah merujuk kepada Aras Laut Min (ALM) di Pelabuhan Klang. Dengan kewujudan kecerunan permukaan laut,

maka akan terdapat perbezaan di antara ketinggian aras (dari ukuran aras) dan juga ketinggian aras dengan menggunakan model geoid. Perbandingan di antara nilai ketinggian ALM dari Stesen Tolok Air Pasang Surut (STAPS) dan juga dengan nilai ALM dari ukuran aras bagi tanda aras di STAPS, akan dapat menunjukkan jika terdapatnya kecerunan permukaan laut di Semenanjung Malaysia.

Rumusan yang boleh dibuat, bahawa selisih yang ditunjukkan oleh bias datum pugak atau pun pembetulan kesepadanan (corrector surface) adalah merupakan selisih terkumpul dari Rangkaian Aras Jitu Semenanjung Malaysia, selisih dalam ketinggian elipsoid dan juga elemen kecerunan permukaan laut.

#### 5.3.4 Analisis Dan Ulasan Model Kesepadanan WMG03A-F

Daripada Jadual 5.4, sisihan piawai untuk model kesepadanan adalah 0.048 m, dan dengan menggunakan semula semua 34 tanda aras tersebut ketinggian  $H_{\text{sepadanan}}$  dari model WMG03A-F telah diperolehi. Statistik dari penghitungan adalah seperti di Jadual 5.5 di bawah.

**Jadual 5.5 : Statistik Kesepadanan  $N_{\text{Fitted}}$**

Statistik	Purata	$\sigma$	Min	Maks
$N_{\text{gps}}$ Untuk Tanda aras asal	3.983	3.250	-4.420	8.530
$N_{\text{fitted}}$ Interpolasi dari WMG03A-F	3.983	3.250	-4.405	8.537
Bias Datum Pugak ( $\epsilon$ )	0.000	0.027	-0.057	0.049

Nilai sisihan piawai bagi kesepadanan adalah 0.027 m dan nilai ini akan dijadikan nilai rujukan bagi membuat penilaian terhadap tanda-tanda aras bagi tujuan semakan.

Tanda-tanda aras semakan dan juga tanda aras yang dikeluarkan dari proses kesepadanan telah digunakan untuk tujuan semakan dan penilaian. Jumlah tanda aras

yang digunakan adalah 19 unit. Dengan menggunakan perisian Surfer™ 8.0 atau pun Geoid dari pakej Gravsoft, nilai  $N_{\text{Fitted}}$  bagi tanda-tanda aras tersebut telah di buat interpolasi dengan menggunakan model kesepadanan (WMG03A-F).

Dari Jadual 5.6, dengan menganggap nilai  $H_{\text{sepadanan}}$  sebagai nilai sebenar dan nilai  $H_{\text{alm}}$  sebagai nilai kiraan, maka nilai reja (residual) boleh dikira sebagai:-

$$v = H_{\text{alm}} - H_{\text{sepadanan}} \quad (5.1)$$

Di dalam kolum Reja, ianya adalah merupakan nilai reja yang dikira melalui persamaan (5.1). Nilai RMS adalah dikira dengan menggunakan formula:-

$$\text{RMS Reja} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}} \quad (5.2)$$

Nilai *RMS of Residuals* bagi semua tanda aras semakan adalah 0.091 m dan ini adalah lebih besar dari nilai sisihan piawai 0.027 m yang diperolehi melalui statistik di Jadual 5.5.

**Jadual 5.6 : Statistik Untuk Tanda Aras Semakan**

Stesen	$h_{\text{gps}}$	$H_{\text{alm}}$	$N_{\text{sepadanan}}$	$H_{\text{sepadanan}}$	Reja (m)		
					$> 3\sigma$	$> 2\sigma$	$< 2\sigma$
J 0141	30.099	20.163	10.147	19.952	0.211		
J 0151	17.727	9.022	8.640	9.087	-0.065	-0.065	
J 0184	43.4	35.546	7.873	35.527	0.019	0.019	0.019
J 0241	29.591	26.283	3.328	26.263	0.020	0.020	0.020
J 0416	11.924	3.428	8.484	3.440	-0.012	-0.012	-0.012
J 0700	10.036	2.919	6.893	3.143	-0.224		
J 1199	18.784	12.617	6.137	12.647	-0.030	-0.030	-0.030
J 1220	17.379	12.435	4.936	12.443	-0.008	-0.008	-0.008
J 1249	61.427	57.206	4.256	57.171	0.035	0.035	0.035
J 1275	17.062	10.694	6.388	10.674	0.020	0.020	0.020
J 1330	6.367	2.475	3.809	2.558	-0.083		
J 1377	7.409	1.633	5.745	1.664	-0.031	-0.031	-0.031
J 1513	8.202	2.943	5.255	2.947	-0.004	-0.004	-0.004
C0157	35.452	33.829	1.658	33.794	0.035	0.035	0.035
C0845	38.045	35.484	2.544	35.501	-0.017	-0.017	-0.017
M0232	4.971	3.722	1.182	3.789	-0.067	-0.067	

... Bersambung

**Jadual 5.6 : Statistik Untuk Tanda Aras Semakan (Sambungan)**

Stesen	$h_{gps}$	$H_{alm}$	$N_{sepadanan}$	$H_{sepadanan}$	Reja (m)		
					$> 3\sigma$	$> 2\sigma$	$< 2\sigma$
N0823	104.969	104.499	0.415	104.554	-0.055	-0.055	
S0103	84.93	86.66	-1.872	86.802	-0.142		
S0322	-3.621	2.017	-5.510	1.889	0.128		
				Purata	-0.014	-0.011	0.002
				Min	-0.224	-0.067	-0.031
				Max	0.128	0.035	0.035
				RMS	0.091	0.036	0.023

Nilai yang ditandakan dengan lorekan pada kolum pertama Reja adalah merupakan nilai-nilai reja yang mempunyai magnitud melebihi  $3\sigma$  (Darjah keyakinan 99%) yang dianggap sebagai *outlier*. Sebanyak lima tanda aras yang melepasi tahap  $3\sigma$  telah dikeluarkan dan untuk pengiraan kedua ( $>2\sigma$ ) nilai RMS adalah 0.036 m. Nilai yang di lorekan di dalam kolum ( $> 2\sigma$ ) adalah nilai reja yang melepasi magnitud  $2\sigma$  (Darjah keyakinan 95%), di mana ianya dikategorikan sebagai tahap amaran.

Untuk penapisan yang ketiga, tiga lagi tanda aras yang melepasi nilai  $2\sigma$  telah dikeluarkan dan ini telah menghasilkan RMS pada tahap 0.023 m dan menepati nilai sisihan piawai 0.027 m untuk model geoid kesepadanan.

Daripada statistik di atas, dapat dirumuskan bahawa model geoid kesepadanan WMG03A-F mampu untuk memberikan ketepatan penentuan ketinggian pada tahap  $\pm 0.027$  meter. Di masa yang sama kaedah ini juga mampu untuk mengesan mana-mana tanda aras yang telah teranjak pada kedudukan lebih dari 5.4 cm ( $2\sigma$ ).

Untuk tujuan kerja-kerja pemetaan permukaan yang memerlukan kejituan pada tahap  $< 10$  cm, model ini adalah sesuai untuk digunakan, terutama untuk kerja-kerja yang melibatkan penentuan dengan masa hakiki seperti kaedah *Real Time Kinematic* (RTK).

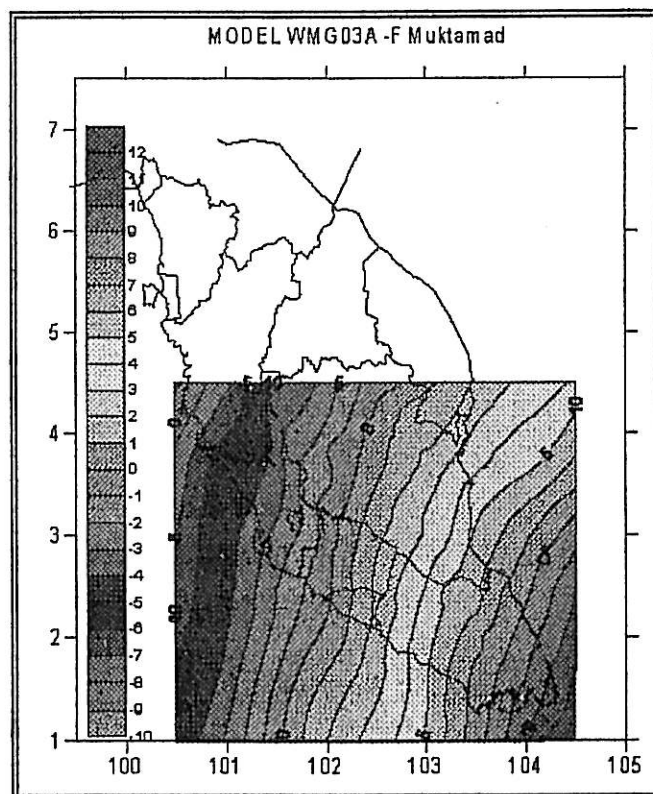
### 5.3.5 Model Kesepadanan WMG03A-F Muktamad

Model muktamad WMG03A-F adalah merupakan model kesepadanan yang dihitung semula dengan menambah 11 stesen semakan yang menepati nilai tetapan  $<2\sigma$ . Statistik dari penghitungan itu adalah seperti di Jadual 5.7 di bawah:-

**Jadual 5.7 :** Statistik Kesepadanan  $N_{\text{Fitted}}$  Untuk Model WMG03A-F Muktamad

Statistik	Purata	$\sigma$	Min	Maks
$N_{\text{gps}}$ Untuk Tanda aras asal	4.267	3.033	-4.420	8.530
$N_{\text{fitted}}$ Interpolasi dari WMG03A-F	4.266	3.033	-4.408	8.535
Bias Datum Pugak ( $\epsilon$ )	0.000	0.021	-0.054	0.038

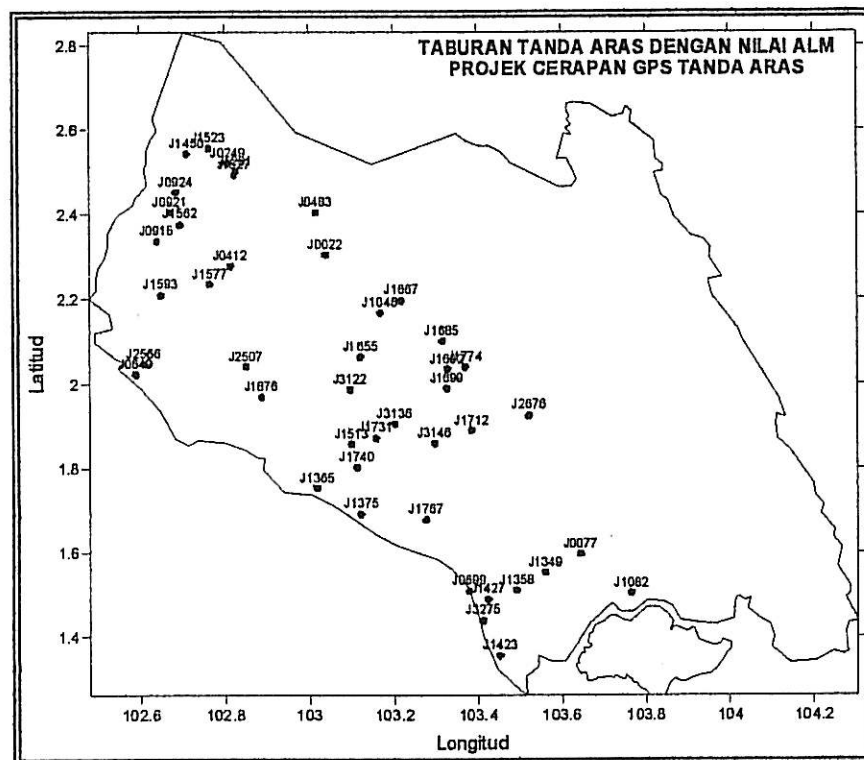
Sisihan piawai untuk kesepadanan semakin baik dengan nilai 0.021 m berbanding dengan 0.027 pada penghitungan sebelum ini. Untuk ujian model ini seterusnya akan menggunakan nilai sisihan piawai ini bagi menilai sama ada menerima atau menolak sesuatu data.



**Rajah 5.6 :** Geoid WMG03A-F Muktamad

### 5.3.6 Pengujian Model WMG03A-F Dengan Set Data II

Sebanyak 44 tanda aras dari 71 jumlah stesen di dalam pelarasan muktamad bagi Set Data II mempunyai nilai  $H_{alm}$ . Selisih vertikal bagi data-data ini adalah pada purata 0.047 m (lihat Jadual 4.12) dan taburan bagi tanda-tanda aras tersebut adalah seperti di Rajah 5.7 di bawah.



**Rajah 5.7 : Plotan Taburan Tanda Aras Dengan Nilai ALM**

Hitungan pertama yang dijalankan adalah dengan menggunakan model kesepadanan WMG03A-F. Perisian yang digunakan untuk tujuan ini adalah Surfer™ 8.0. Hasil dan statistik hitungan adalah seperti di Jadual 5.8.

**Jadual 5.8 : Statistik Untuk Kiraan Aras & Model Kesepadanan**

Stesen	$h_{GPS}$	$N_{WMG03A-F}$	$H_{alm}$	$H_{sepadanan}$	$dH$
J0022	36.833	4.502	32.395	32.331	0.064
J0077	26.151	7.840	18.322	18.311	0.011
J0249	37.518	3.370	34.230	34.148	0.082
J0412	17.787	3.576	14.249	14.211	0.038
J0483	63.227	4.308	58.991	58.919	0.072
J0649	6.394	2.885	3.540	3.509	0.031
J0699	10.457	6.874	3.674	3.583	0.091
J0915	45.582	2.867	42.757	42.715	0.042
J0921	63.582	2.997	60.619	60.585	0.034
J0924	28.869	3.014	25.952	25.855	0.097
J1046	57.263	5.168	52.101	52.095	0.006
J1082	18.220	8.392	9.801	9.828	-0.027
J1261	14.696	3.457	11.332	11.239	0.093
J1349	55.953	7.549	48.404	48.404	0.000
J1358	19.599	7.318	12.268	12.281	-0.013
J1365	6.832	4.974	1.923	1.858	0.065
J1375	7.386	5.583	1.874	1.803	0.071
J1423	10.264	7.284	2.974	2.980	-0.006
J1427	10.408	7.074	3.387	3.334	0.053
J1450	32.268	2.996	29.383	29.272	0.111
J1513	8.268	5.301	2.943	2.967	-0.024
J1523	16.550	3.171	13.487	13.379	0.108
J1527	13.944	3.451	10.707	10.493	0.214
J1562	43.765	3.061	40.729	40.704	0.025
J1577	7.175	3.389	3.755	3.786	-0.031
J1593	7.383	2.894	4.605	4.489	0.116
J1655	28.569	5.124	23.500	23.445	0.055
J1667	56.920	5.305	51.573	51.615	-0.042
J1685	36.086	5.767	30.219	30.319	-0.100
J1692	37.788	5.955	31.884	31.833	0.051
J1699	40.942	6.052	34.778	34.890	-0.112
J1712	71.539	6.462	64.895	65.077	-0.182
J1731	10.230	5.544	4.628	4.686	-0.058
J1740	9.466	5.436	4.150	4.030	0.120

Petunjuk:

>  $2\sigma$ 

... bersambung

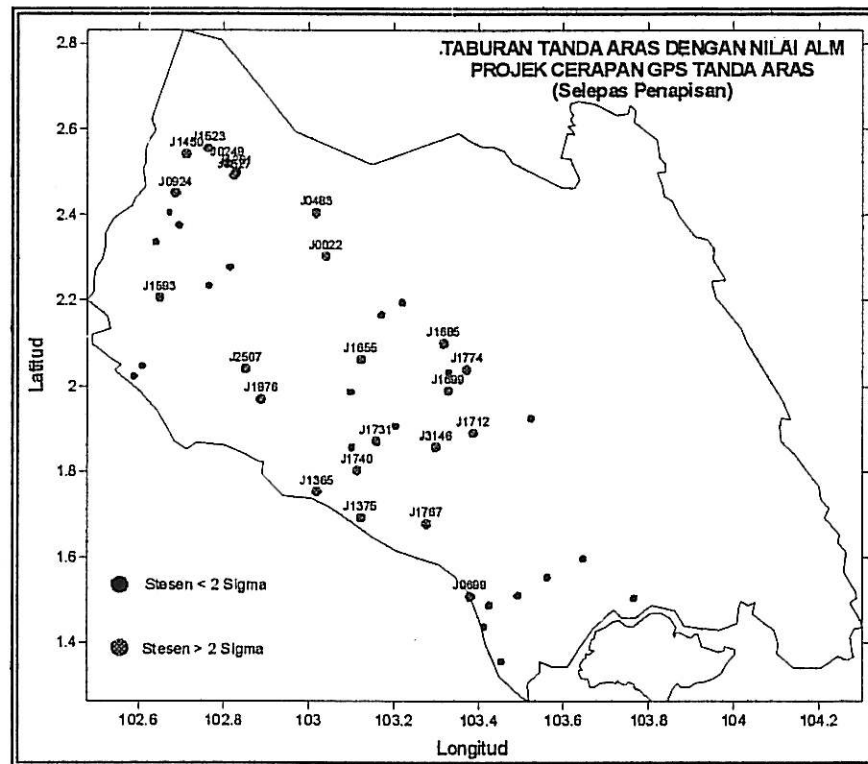


**Jadual 5.8 : Statistik Untuk Kiraan Aras & Model Kesepadanan (samb.)**

Stesen	$h_{Gps}$	$N_{WMG03A-F}$	$H_{Alm}$	$H_{Fitted}$	dH
J1767	9.940	6.298	3.752	3.642	0.110
J1774	55.339	6.131	49.351	49.208	0.143
J1876	6.327	4.242	2.224	2.085	0.139
J2507	23.012	3.998	18.948	19.014	-0.066
J2566	6.927	2.958	4.018	3.969	0.049
J2676	71.374	6.914	64.513	64.460	0.053
J3122	19.044	5.120	13.931	13.924	0.007
J3136	18.382	5.688	12.658	12.694	-0.036
J3146	20.742	6.155	14.663	14.587	0.076
J3275	10.039	7.066	3.004	2.973	0.031
			Maksimum		0.214 m
			Minimum		-0.182 m
			Purata		0.035 m
			RMS		0.082 m
			Jumlah Stesen $> 3\sigma$		20
			Jumlah Stesen $> 2\sigma$		6

Dari Jadual 5.8 di atas, RMS bagi nilai dH (Reja) ataupun perbezaan nilai RMS adalah 0.082 m di mana ianya adalah lebih besar dari nilai 0.021 m bagi kejituan model WMG03A-F. Nilai yang agak besar ini adalah disebabkan terdapat beberapa stesen yang mempunyai perbezaan yang melebihi angka 0.063 m ( $2\sigma$ ) sebanyak 20 unit. Jumlah tanda aras yang melepasi nilai "amaran" 0.042 m ( $2\sigma$ ) pula adalah 6 unit.

Jumlah tanda aras yang melepasi nilai "amaran" adalah melebihi sebahagian dari jumlah tanda aras yang diuji, dan ini menunjukkan kehadiran selisih di dalam komponen-komponen tertentu. Taburan tanda-tanda aras yang melepasi nilai "amaran" telah diplotkan seperti di Rajah 5.8. Plotan telah menunjukkan terdapat trend tanda-tanda aras bagi kawasan tertentu telah melepasi nilai  $2\sigma$ . Perbandingan dengan plotan elip di Rajah 4.11, menunjukkan bahawa kebanyakan stesen ini mempunyai saiz selisih elip dan vertikal yang berbeza-beza.



**Rajah 5.8 : Plotan Taburan Tanda Aras Melempi Nilai  $2\sigma$**

#### 5.4 PENENTUAN KETINGGIAN SECARA RELATIF

Bagi menilai kejituan penentuan ketinggian aras GPS dengan menggunakan model geoid jitu WMG03A, perbandingan relatif nilai undulasi ( $N_{\text{gps}}$ ) bagi data-data cerapan berbanding dengan undulasi ( $N_{\text{grav}}$ ) dari model graviti telah dilakukan dengan menggunakan formula di bawah:-

$$\delta = \Delta N_{\text{gps}} - \Delta N_{\text{grav}} \quad (5.3)$$

Di mana,

$\Delta N_{\text{grav}}$  - Perbezaan ketinggian geoid graviti.

$\Delta N_{\text{gps}}$  -  $(\Delta h_{\text{gps}} - \Delta H_{\text{alm}})$  Perbezaan ketinggian geoid geometrik antara dua tanda aras.

$\delta$  - Perbezaan  $N_{\text{gps}}$  dan  $N_{\text{grav}}$

Penghitungan secara relatif telah dibuat bagi semua garis dasar yang telah diproses dan dilaras dengan menggunakan formula (5.3) di atas. Sebanyak 49 garis dasar bagi Set Data IA dan IB telah digunakan. Penilaian statistik dengan menggunakan semua garis dasar telah memberikan nilai RMS 0.079 m bagi nilai  $\delta$ . Nilai RMS yang agak besar adalah disebabkan garis dasar yang melibatkan tanda-tanda aras yang tidak tepat telah digunakan.

Untuk memperolehi nilai kejituan relatif (PPM) yang lebih realistik, kaedah ganda-dua terdikit telah digunakan untuk penentuan trend 1-Dimensi kesepadanan secara linear (Linear fitting) dengan menggunakan formula di bawah:-

$$\delta = Mx + C \quad (5.4)$$

Di mana,

- C - Konstant  
M - Pekali kepada jarak (PPM)

Pendekatan Pelarasan Punca Ganda Dua Terdikit (PKDT) telah digunakan dengan persamaan cerapan kes linear. Model fungsian bagi pelarasan ini adalah:

$$L_a = f(X_a) \quad (5.5)$$

$$v = AX + F \text{ (Model Persamaan Cerapan)} \quad (5.6)$$

Di mana,

- $v$  = Reja cerapan teoretikal  
 $X$  = Parameter terlaras (M dan C)  
 $F$  = Selisih ketinggian ( $\delta$ )

Dari persamaan (5.4) dan (5.6), persamaan cerapan boleh di tulis sebagai:-

$$\delta_i + v_i = MX_i + C \quad (5.7)$$

dan di dalam bentuk matriks sebagai:-

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ x_3 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} M \\ C \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \end{pmatrix} \quad v = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix}$$

Penyelesaian parameter terlaras dengan menggunakan persamaan normal adalah seperti di bawah:-

$$X = N^{-1}U \quad (5.8)$$

Di mana,

$$\begin{aligned} N &= A^T P A \\ U &= A^T P F \\ Q_{xa} &= (A^T P A)^{-1}, \text{ Matriks Kofaktor Parameter} \\ v &= AX - F, \text{ Matriks Reja} \\ Q_{vv} &= P^{-1} - AN^{-1}A^T, \text{ Matriks Kofaktor Reja} \\ P &= \text{Matriks Pemberat} \\ \sigma_o^2 &= v^T P v / (n-u), \text{ Faktor Varian aposteriori} \end{aligned}$$

Bagi pelarasan ini, penulis telah membina program LREG dengan kod program ditulis menggunakan bahasa Matlab 6.1p. Bagi model stokastik pemberat (P), skema yang telah digunakan setelah mengambil kira selisih-selisih ketinggian elipsoid (h), ketinggian ALM (H) dan selisih relatif model geoid adalah di sekitar 3 sentimeter.

Penilaian kualiti telah menggunakan ujian global *Chi-Square* dan juga ujian lokal dengan menggunakan *Pope's Tau*. Bagi pelarasan data-data ini, sebanyak 49 garis dasar telah digunakan pada permulaan pelarasan. Analisis telah dilakukan dengan menggunakan ujian *Chi-Square* dan ujian *Pope's Tau*, di mana cerapan yang melebihi nilai kritikal atau yang mengandungi reja yang besar akan dikeluarkan satu persatu melalui proses iterasi.

Pelarasan terakhir adalah menggunakan sejumlah 41 cerapan dengan membuat penskalaan terhadap nilai varian apriori dan kesemua data telah lulus ujian global dan juga ujian lokal. Nilai parameter terlaras bagi pelarasan yang telah dijalankan adalah:-

$$M = 1.084 \text{ ppm}$$

$$C = 3.294 \text{ mm}$$

Dari hasil pelarasan ini, nilai tikaian yang dibenarkan bagi pengukuran aras GPS secara relatif adalah:-

$$\delta \text{ (mm)} = 3.294 + 1.084D \quad (5.9)$$

di mana,

D adalah jarak di dalam km.

**Jadual 5.9: Statistik Hasil Pelarasan**

```
*****
LEAST SQUARES ESTIMATION
*****

ESTIMATED PARAMETER WITH STANDARD ERRORS
*****

      ppm                      c (mm)
*****                      *****

      1.0847548                -3.2944356
      0.3580281                0.0132053

A POSTERIORI VARIANCE FACTOR =      1.000000

*****
CHI-SQUARE TEST (TWO-TAILED)
*****

SIGNIFICANCE LEVEL =      0.05

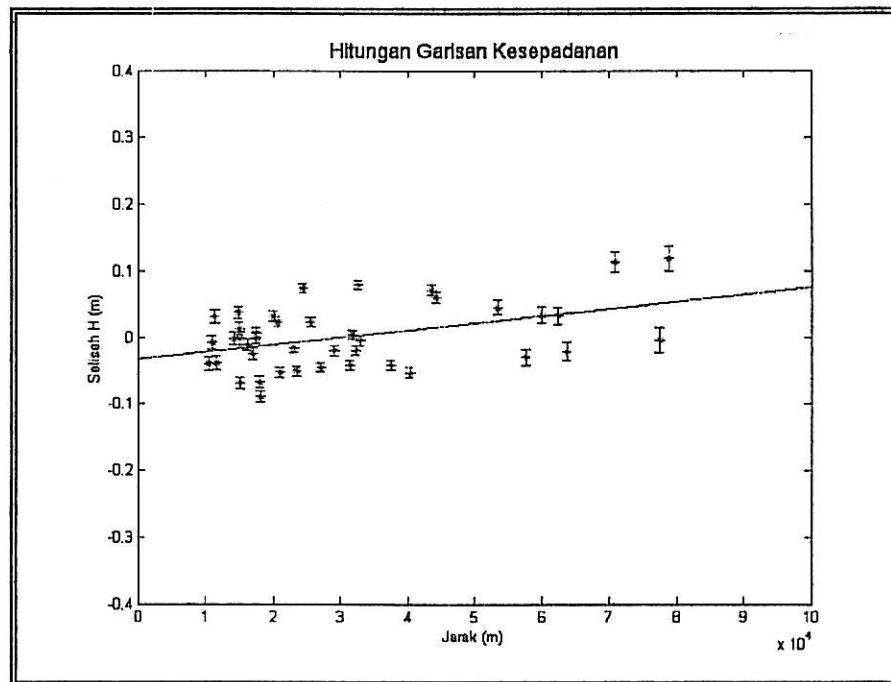
      0.671      <=      1      <=      1.649

*** CHI-SQUARE TEST PASSED ***
```

...bersambung

**Jadual 5.9: Statistik Hasil Pelarasan (Sambungan)**

*****				
LOCAL TEST WITH POPE'S TAU				
*****				
NO. OF OBSNS. = 41				
DEGRESS OF FREEDOM = 39				
SIGNIFICANCE LEVEL OF TAU= 0.05				
CRITICAL VALUE OF TAU = 3.0749				
NO. OF OBSNS. FAILED THE TEST (V NORM > TAU) = 0				
NO	ESTIMATED OBSNS.	EST. RES.	S.E. RES.	TAU
****	*****	*****	*****	*****
1	-0.021532	0.017875	0.042858	0.4171
2	-0.021018	-0.013933	0.042887	0.3249
3	-0.020549	-0.051460	0.042914	1.1992
4	-0.020220	0.017639	0.042932	0.4109
5	-0.017497	-0.015357	0.043070	0.3566
6	-0.016762	-0.054617	0.043104	1.2671
7	-0.016640	-0.029883	0.043110	0.6932
8	-0.016538	-0.015112	0.043114	0.3505
9	-0.016407	0.052616	0.043120	1.2202
10	-0.015347	-0.003986	0.043166	0.0923
11	-0.014506	0.010450	0.043200	0.2419
12	-0.013924	-0.013321	0.043223	0.3082
13	-0.013834	-0.019991	0.043226	0.4625
14	-0.013365	0.053586	0.043244	1.2392
15	-0.013170	0.076222	0.043251	1.7623
16	-0.011221	-0.043389	0.043316	1.0017
17	-0.010391	-0.034217	0.043341	0.7895
18	-0.010147	0.042503	0.043348	0.9805
19	-0.007811	0.008106	0.043408	0.1867
20	-0.007376	0.043658	0.043418	1.0055
21	-0.006418	-0.080424	0.043437	1.8515
22	-0.005062	-0.028399	0.043461	0.6534
23	-0.003545	0.042019	0.043482	0.9664
24	-0.001382	0.018987	0.043502	0.4365
25	0.001239	0.042391	0.043510	0.9743
26	0.001615	-0.002750	0.043510	0.0632
27	0.002205	0.021985	0.043509	0.5053
28	0.002547	-0.077109	0.043508	1.7723
29	0.002872	0.007938	0.043507	0.1825
30	0.007762	0.049409	0.043456	1.1370
31	0.010838	0.064162	0.043394	1.4786
32	0.014390	-0.057044	0.043292	1.3177
33	0.015046	-0.044849	0.043270	1.0365
34	0.025140	-0.020603	0.042787	0.4815
35	0.029601	0.058785	0.042489	1.3835
36	0.032266	-0.001413	0.042285	0.0334
37	0.034710	0.002078	0.042082	0.0494
38	0.036302	0.056995	0.041940	1.3590
39	0.043901	-0.069319	0.041165	1.6839
40	0.051115	0.055584	0.040272	1.3802
41	0.052589	-0.065812	0.040069	1.6425

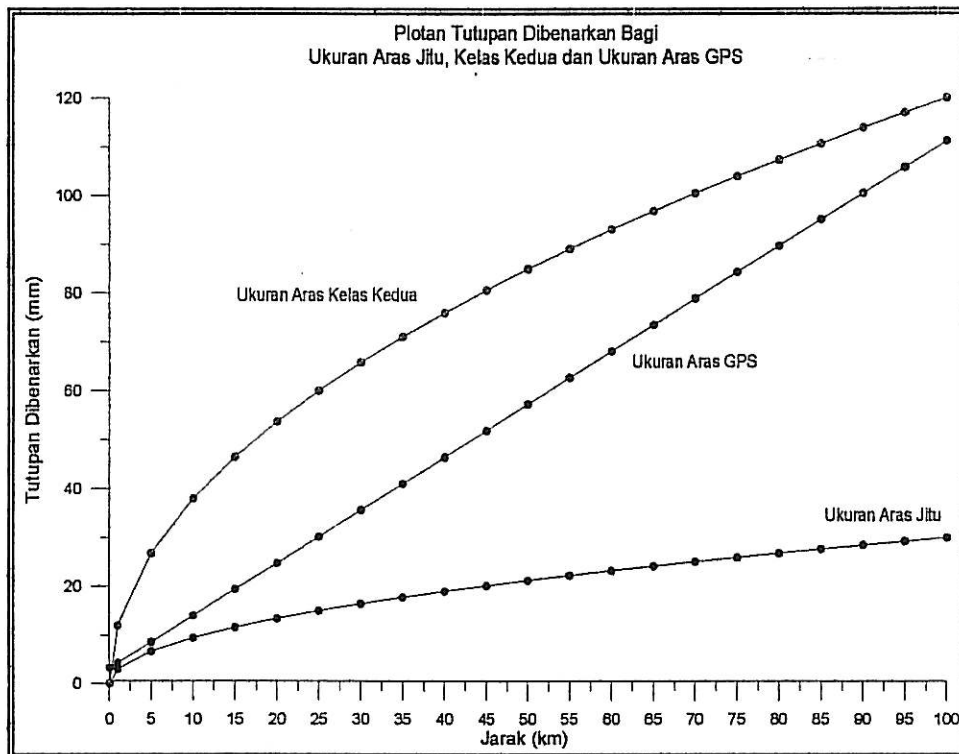


**Rajah 5.9 : Plotan Garisan Kesepadanan (Linear Regression)**

#### **5.4.1 Perbandingan Kejituan Relatif Ukuran Aras Dan Analisis**

Perbandingan kejituan yang diperolehi dengan kaedah ukuran aras GPS telah dibandingkan dengan kejituan relatif bagi ukuran aras. Bagi ukuran aras kedua tutupan dibenarkan berbanding dengan jarak adalah  $0.012\sqrt{K}$  m, di mana K dalam km, sementara bagi ukuran aras jitu pula adalah  $0.003\sqrt{K}$  m.

Plotan untuk nilai tutupan yang dibenarkan bagi ketiga-tiga kaedah di atas bagi jarak 0 – 100 km adalah seperti di Rajah 5.10. Di dalam rajah yang sama, dapat dirumuskan bahawa kaedah penentuan aras GPS dengan model geoid jitu tidak dapat menepati kejituan Ukuran Aras Jitu, tetapi sebaliknya adalah lebih baik dari Ukuran Aras Kelas Kedua.



Rajah 5.10 : Plotan Nilai Tutupan Dibenarkan

#### 5.4.2 Ujian Kejituan Relatif Keatas Data Set II

Ketinggian ALM dari Set Data II ini juga telah dihitung dengan menggunakan model WMG03A dan hitungan dilakukan secara relatif. Tujuan hitungan ini dilakukan adalah untuk melihat sama ada kejituan relatif yang diperolehi dapat menepati mana-mana kelas ukuran aras dan disamping itu dapat membuktikan statistik kejituan relatif yang dihasilkan dari Set Data I.

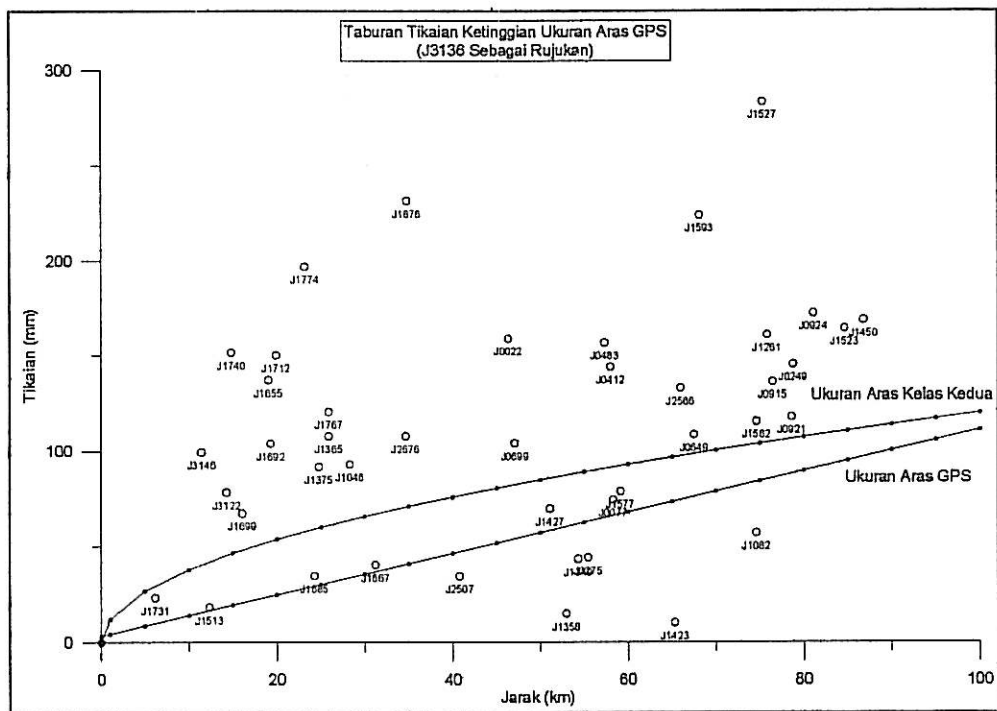
Tanda aras J3136 telah dipilih menjadi stesen rujukan untuk kiraan aras GPS secara jejarian (lihat Rajah 5.8). Tanda aras J3136 adalah tanda aras yang mempunyai perbezaan  $< 2\sigma$  semasa penentuan ketinggian dengan menggunakan model kesepadanan WMG03A-F. Di samping kedudukan tanda aras J3136 ini adalah di tengah-tengah kawasan projek, dan akan memberikan taburan yang lebih menyeluruh dan pelbagai arah.



**Jadual 5.10: Statistik Ukuran Aras GPS (Stesen Rujukan J3136)**

Dari	Ke	Jarak	$\Delta h$	H	$\Delta N'_{\text{grav}}$	$H_{\text{GPS}}$	$\delta H$	Tikaian Di benarkan	
								GPS	Aras Kedua
J3136				12.658					
	J1731	6.183	-8.152	4.628	-0.145	4.651	0.023	0.010	0.030
	J3146	11.442	2.360	14.663	0.454	14.564	-0.099	0.016	0.041
	J1513	12.318	-10.114	2.943	-0.381	2.925	-0.018	0.017	0.042
	J3122	14.300	0.662	13.931	-0.533	13.853	-0.078	0.019	0.045
	J1740	14.831	-8.916	4.150	-0.257	3.999	-0.151	0.019	0.046
	J1699	16.075	22.560	34.778	0.373	34.845	0.067	0.021	0.048
	J1655	19.024	10.187	23.500	-0.518	23.363	-0.137	0.024	0.052
	J1692	19.294	19.406	31.884	0.284	31.780	-0.104	0.024	0.053
	J1712	19.914	53.157	64.895	0.770	65.045	0.150	0.025	0.054
	J1774	23.158	36.957	49.351	0.461	49.154	-0.197	0.028	0.058
	J1685	24.254	17.704	30.219	0.108	30.254	0.035	0.029	0.059
	J1375	24.775	-10.996	1.874	-0.120	1.782	-0.092	0.030	0.060
	J1365	25.913	-11.550	1.923	-0.707	1.815	-0.108	0.031	0.061
	J1767	25.920	-8.442	3.752	0.585	3.631	-0.121	0.031	0.061
	J1046	28.321	38.881	52.101	-0.469	52.008	-0.093	0.034	0.064
	J1667	31.207	38.538	51.573	-0.336	51.532	-0.041	0.037	0.067
	J2676	34.648	52.992	64.513	1.245	64.405	-0.108	0.041	0.071
	J1876	34.780	-12.055	2.224	-1.390	1.993	-0.231	0.041	0.071
	J2507	40.770	4.630	18.948	-1.625	18.913	-0.035	0.047	0.077
	J0022	46.337	18.451	32.395	-1.127	32.236	-0.159	0.053	0.082
	J0699	47.092	-7.925	3.674	1.163	3.570	-0.104	0.054	0.082
	J1427	51.113	-7.974	3.387	1.367	3.317	-0.070	0.058	0.086
	J1358	52.953	1.217	12.268	1.622	12.253	-0.015	0.060	0.087
	J1349	54.315	37.571	48.404	1.869	48.360	-0.044	0.062	0.088
	J3275	55.441	-8.343	3.004	1.355	2.960	-0.044	0.063	0.089
	J0483	57.334	44.845	58.991	-1.331	58.834	-0.157	0.065	0.091
	J0412	58.002	-0.595	14.249	-2.042	14.105	-0.144	0.066	0.091
	J0077	58.290	7.769	18.322	2.179	18.248	-0.074	0.066	0.092
	J1577	59.123	-11.207	3.755	-2.225	3.676	-0.079	0.067	0.092
	J1423	65.257	-8.118	2.974	1.576	2.964	-0.010	0.074	0.097
	J2566	65.947	-11.455	4.018	-2.682	3.885	-0.133	0.075	0.097
	J0649	67.483	-11.988	3.540	-2.761	3.431	-0.109	0.076	0.099
	J1593	68.115	-10.999	4.605	-2.722	4.381	-0.224	0.077	0.099
	J1082	74.580	-0.162	9.801	2.752	9.744	-0.057	0.084	0.104
	J1562	74.618	25.383	40.729	-2.573	40.614	-0.115	0.084	0.104
	J1527	75.331	-4.438	10.707	-2.204	10.424	-0.283	0.085	0.104
	J1261	75.815	-3.686	11.332	-2.199	11.171	-0.161	0.085	0.104
	J0915	76.439	27.200	42.757	-2.763	42.621	-0.136	0.086	0.105
	J0921	78.611	45.200	60.619	-2.643	60.501	-0.118	0.088	0.106
	J0249	78.782	19.136	34.230	-2.291	34.085	-0.145	0.088	0.107
	J0924	81.072	10.487	25.952	-2.635	25.780	-0.172	0.091	0.108
	J1523	84.623	-1.832	13.487	-2.497	13.323	-0.164	0.095	0.110
	J1450	86.793	13.886	29.383	-2.670	29.214	-0.169	0.097	0.112

**Nota:** Stesen Lorekan adalah Stesen yang menepati tikaian dibenarkan.



**Rajah 5.11** : Plotan Tikaian Tanda Aras Berbanding Tikaian Dibenarkan (J3136)

Dengan menggunakan kaedah cerapan relatif untuk penentuan ketinggian aras, hanya tujuh tanda aras sahaja yang melepasi tikaian dibenarkan bagi ukuran aras GPS. Keenam-enam tanda aras adalah dari 18 tanda aras yang melepasi tahap  $< 2\sigma$  semasa ujian dilakukan dengan kaedah model kesepadanan geoid.

## **BAB 6**

### **ANALISIS**

#### **6.1 PENGENALAN**

Bab ini akan membicarakan analisis keseluruhan Projek Sarjana Muda yang meliputi hasil pemprosesan dan pelarasan data GPS dan penghitungan ketinggian aras dengan menggunakan model geoid. Secara khususnya analisis ini dibahagikan kepada:-

- i. Pemprosesan dan pelarasan data GPS
  - a. Pelarasan semula garis dasar GPS bagi Set Data IA dan IB
  - b. Pemprosesan dan pelarasan data GPS Set Data II
- ii. Sistem ketinggian ukuran aras GPS
  - a. Analisis model geoid kesepadanan
  - b. Analisis penghitungan dengan kaedah relatif
  - c. Pengujian model geoid kesepadanan
  - d. Pengujian secara relatif
  - e. Perbandingan penentuan ketinggian antara kedua-dua kaedah di atas.

## 6.2 ANALISIS KUALITI HASIL PEMROSESAN DATA GPS

Hasil pemprosesan dan pelarasan data-data GPS dari Seksyen Geodesi, Jupem telah menunjukkan bahawa ianya mempunyai kejitian yang berlainan. Bagi set data IA, ketepatan individu (absolute) adalah pada tahap 3.5 cm bagi horizontal dan 4.7 cm bagi vertikal (Jadual 4.3). Di Jadual 4.4 pula menunjukkan pencapaian Set Data 1B. Ketepatan yang lebih baik iaitu pada tahap 1.7 cm bagi horizontal dan 2 cm bagi vertikal telah dicapai bagi data-data ini.

Bagi set data kedua kejitian stesen yang di dapati adalah di sekitar 3.5 cm bagi horizontal dan 4.5 cm bagi vertikal (Jadual 4.14). Dengan jarak garis dasar yang lebih pendek dari data 1A dan 1B, kejitian stesen yang diperolehi adalah rendah jika dibandingkan dengan kedua-dua set data yang terdahulu.

Bagi kejitian purata relatif pula, ketepatan yang diperolehi bagi set data 1A adalah lebih baik dari 1 ppm bagi kedua-dua komponen horizontal dan vertikal (Jadual 4.4). Di Jadual 4.8 pula menunjukkan kejitian bagi data 1B adalah 1.18 ppm dan 1.40 ppm bagi komponen horizontal dan vertikal. Bagi Set Data II, kejitian relatif adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 4.15. Kejitian yang diperolehi adalah lebih rendah jika dibandingkan dengan kedua-dua data yang terdahulu. Kejitian horizontal adalah pada tahap 2 ppm dan vertikal 2.74 ppm.

Terdapat sebanyak 81 garis dasar bersama 27 Tanda Aras dan stesen GPS telah dikeluarkan dari pelarasan muktamad bagi Set Data II. Garis-garis dasar ini telah dikeluarkan kerana kualiti yang rendah, hasil dari nilai reja piawai yang telah melebihi nilai kritikal TAU.

Jumlah garis dasar sebanyak 276 yang dieksport untuk tujuan pelarasan adalah termasuk dengan garis dasar yang telah tidak menepati kriteria pemprosesan yang menjadi indikator kepada kualiti garis dasar itu sendiri. Di antara sebab mengapa terlalu banyak garis dasar yang dikeluarkan adalah:-

- i. Kualiti data GPS yang rendah, di mana banyak stesen (Tanda Aras) yang terlindung, iaitu tidak mempunyai ketinjahan cerapan yang mencukupi.
- ii. Dengan data yang tidak berkualiti, menyebabkan nilai-nilai tetapan seperti *Variance Factor*, *Ratio* dan *RMS of Residuals* telah tidak ditepati.

Garis-garis dasar ini masih digunakan di dalam pelarasan adalah untuk memodelkan pemberat yang sesuai semasa pelarasan, dengan itu garis dasar yang tidak menepati kriteria nilai tetapan pemprosesan masih boleh digunakan.

Dengan kejituan hasil yang berlainan data-data dari Set Data II hanya digunakan untuk tujuan ujian, sementara data dari Set Data 1A dan 1B telah digunakan sebagai data utama di dalam proses yang berikutnya.

### 6.3 ANALISIS KUALITI MODEL GEOID KESEPADANAN

Model geoid kesepadanan WMG03A-F telah dihasilkan melalui proses iterasi. Model ini adalah merupakan model ujian, di mana ianya hanya merangkumi kawasan di bawah latitud  $4^{\circ}$ . Sebanyak 53 tanda aras hasil dari pemprosesan data Set Data 1A dan 1B telah digunakan, sama ada untuk tujuan kesepadanan ataupun ujian.

Daripada 53 tanda aras yang digunakan, 15 tanda aras telah dipilih sebagai tanda aras semakan. Proses iteratif telah mengeluarkan sebanyak empat tanda aras dari proses kesepadanan geoid. Statistik hasil dengan 34 tanda aras yang digunakan untuk kesepadanan dengan kaedah *collocation* pada iterasi yang ke enam, adalah merupakan nilai sisihan piawai yang diperolehi iaitu 2.7 cm (Jadual 5.5).

Model geoid sepadanan dari iterasi yang ke enam telah digunakan untuk tujuan ujian ke atas 15 tanda aras yang telah dipilih. Ujian menunjukkan empat (4)

tanda aras telah melebihi dari nilai  $2\sigma$  (0.054 cm). Sebelas (11) tanda aras yang menepati nilai  $< 2\sigma$  telah digabungkan dengan 34 tanda aras yang digunakan untuk penghasilan model kesepadanan pada iterasi yang terakhir.

Semua 45 tanda aras ini telah menghasilkan model geoid sepadanan WMG03A-F yang hanya boleh digunakan untuk kawasan di bawah latitud  $4^\circ$ . Untuk mendapatkan kejitian model ini, semua tanda aras (45 unit) telah digunakan sekali lagi dengan model WMG03A-F untuk proses kesepadanan. Hasil telah memberikan statistik seperti di Jadual 5.7 dengan kejitian model WMG03A-F boleh di ambil sebagai **0.021 meter**.

#### 6.4 ANALISIS PENENTUAN KEJITUAN RELATIF

Penentuan kejitian relatif bagi sistem ukuran aras GPS telah menggunakan model geoid graviti WMG03A. Sebanyak 49 garis dasar dari hasil pelarasan Set Data 1A dan 1B telah digunakan, di mana kejitian relatif garis dasar ini adalah pada tahap 1 – 1.4 ppm bagi komponen vertikal (lihat Jadual 4.4 dan 4.8). Model kesepadanan garis lurus dengan 1-Dimensi telah digunakan sebagai model matematik. Pengiraan telah menggunakan pendekatan Pelarasan Punca Ganda-dua Terdikit (PKDT) di mana proses iteratif secara manual telah dijalankan.

Di dalam membuat penapisan data secara iteratif, elemen utama yang dilihat adalah pada ujian global (Chi-Square) dan juga ujian lokal (Pope's Tau) di samping nilai-nilai reja yang besar. Parameter terlaras muktamad telah dihasilkan dengan menggunakan 41 cerapan dengan kejitian seperti di bawah:

$$\begin{aligned}\text{Pekali (ppm)} &= 1.084 \text{ ppm} \pm 0.358 \text{ ppm} \\ \text{Konstan (c)} &= 3.294 \text{ mm} \pm 0.013 \text{ mm}\end{aligned}$$

Parameter yang dihasilkan telah memberikan nilai tikaian dibenarkan lebih baik dari tikaian ukuran Aras Kelas Kedua tetapi tidak mencapai ukuran Aras Jitu.

Walau bagaimana pun, nilai tersebut merupakan nilai yang mempunyai ketepatan tinggi dan mampu untuk menggantikan Sistem Ukuran Aras Kelas Kedua.

## 6.5 PENGUJIAN MODEL GEOID KESEPADANAN

Pengujian model kesepadanan WMG03A-F dengan menggunakan Set Data II, telah berjaya mengesan tanda-tanda aras yang berkemungkinan telah teranjak disebabkan faktor-faktor seperti gangguan dan juga faktor cuaca. Pengujian ini telah dilakukan dengan mengambil darjah keyakinan 95% ( $2\sigma$ ) yang bersamaan dengan 0.042 m sebagai aras untuk menentukan status tanda-tanda aras.

Sebanyak 26 tanda aras telah melepasi nilai 0.042 meter (lihat Jadual 5.8) dengan pecahannya seperti berikut:-

**Jadual 6.1:** Pecahan Tanda Aras Melebihi  $2\sigma$

Bil.	Parameter	Jumlah Tanda Aras
1.	Kurang dari $2\sigma$	18
2.	$2\sigma - 3\sigma$	6
3.	$3\sigma - 4\sigma$	7
4.	$> 4\sigma$	13
5.	<b>Jumlah</b>	<b>44</b>

Dari Jadual 6.1 di atas, ianya dengan jelas menunjukkan terdapat tanda-tanda aras telah teranjak jika mengambil nilai  $3\sigma$  sebagai penanda penerimaan. Walau bagaimana pun perhatian lebih teliti perlu diberikan terhadap hasil pemprosesan dan pelarasan data-data GPS bagi Set Data II ini. Kejituan *absolute* dan relatif bagi tanda-tanda aras data ini adalah lebih rendah dari nilai yang digunakan bagi penghasilan model geoid kesepadanan. Di samping itu sela masa di antara kedua-dua projek cerapan GPS yang agak lama juga menyumbang kepada ketidakpastian ini.

Dengan mengambil faktor di atas, nilai  $4\sigma$  (0.084 m) adalah nilai yang realistik di dalam pengesahan untuk tanda aras yang telah teranjak. Nilai  $3\sigma$  -  $4\sigma$  yang bersamaan perbezaan 0.021 m adalah hampir dengan nilai perbezaan kejitudan vertikal Set Data II dan Set Data I, dan ini memberikan kesamaran untuk menentukan sama ada tanda aras tersebut teranjak atau tidak.

Pengujian ini akan memberikan penjelasan yang konkrit jika statistik pelarasan GPS untuk data-data ujian bersamaan atau lebih baik dari statistik data-data yang digunakan untuk penghasilan model geoid kesepadanan WMG03A-F.

## **6.6 PENGUJIAN SECARA RELATIF**

Pengujian data-data yang sama dengan menggunakan tanda aras J3136 sebagai tanda rujukan. Hanya enam (6) tanda aras sahaja telah melepasi nilai tikaian yang dibenarkan dengan pengukuran GPS (lihat Jadual 5.10). Pengujian dengan kaedah relatif adalah lebih jitu dan memerlukan kualiti jaringan yang sama atau lebih baik dari kualiti jaringan di dalam penghasilan nilai tetapan kejitudan relatif GPS.

Dengan kejitudan relatif Set Data II pada purata 2.7 ppm sementara kejitudan relatif Set Data I  $\approx$  1.2 ppm, sudah semestinya data-data dari Set Data II tidak dapat menepati nilai tikaian yang dibenarkan.

## **6.7 PERBANDINGAN PENENTUAN KETINGGIAN ANTARA KEDUA-DUA KAEDAH**

Hasil pengujian yang dilakukan bagi kedua-dua kaedah di atas telah menunjukkan bahawa penggunaan kaedah relatif adalah lebih jitu. Penggunaan model geoid kesepadanan akan dapat mengesahkan status tanda aras pada tahap 0.063 m ( $3\sigma$ ) dengan kualiti data yang sama ( $\pm 2\text{cm}$  = selisih vertikal). Kaedah relatif pula



akan dapat mengesahkan pada tahap ( $3\text{mm} + 1\text{ppm}$ ), tetapi dengan syarat kualiti kejituan relatif jaringan GPS mestilah kurang dari  $1.2\text{ ppm}$ .

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN CADANGAN

#### 7.1 KESIMPULAN

Berdasarkan kajian dan analisis yang telah dijalankan, dapat dirumuskan bahawa teknologi GPS boleh digunakan di dalam penentuan ketinggian dan pemantauan status tanda-tanda aras. Kaedah ini mampu direalisasikan dengan kehadiran model geoid jitu Semenanjung Malaysia WMG03A.

Penghasilan model geoid kesepadanan WMG03A-F dengan kejituan 2.1 cm ( $1\sigma$ ), boleh memantau status tanda aras yang teranjak jika melebihi nilai 0.063 cm ( $3\sigma$ ). Nilai yang lebih baik boleh digunakan sebagai nilai tetapan cth: 0.042 cm ( $2\sigma$ ), jika kualiti jaringan GPS lebih baik dari 1.2 ppm (relatif) diperolehi. Bagi kerja-kerja *Real Time Kinematic* (RTK), dengan kejituan 1 cm, model ini akan memberikan kelebihan sama ada untuk kerja-kerja kejuruteraan, pemantauan tanda aras atau pun untuk memberikan (establish) nilai tanda aras bagi laluan baru atau sedia ada.

Penetapan kejituan relatif bagi ukuran aras GPS dengan nilai 3.2 mm + 1.1 ppm, adalah lebih baik dari ukuran kelas kedua. Kaedah ini akan dapat memberikan status tanda aras (teranjak) bagi Rangkaian Aras Jitu Semenanjung Malaysia dan pada masa yang sama mampu untuk memberikan nilai yang baru dengan kejituan yang lebih baik dari ukuran aras Kelas Kedua. Teknik ini adalah sesuai untuk laluan yang berbukit, di mana teknik ukuran aras konvensional akan memerlukan masa yang panjang untuk diselesaikan.

## 7.2 CADANGAN

Dari hasil kajian yang telah dilakukan, masih banyak lagi perkara-perkara yang perlu diberi perhatian di dalam merealisasikan teknik Ukuran Aras GPS. Beberapa cadangan telah disenaraikan di bawah untuk memperbaiki teknik bagi menghasilkan penyelesaian yang lebih baik.

### 7.2.1 Model Geoid Kesepadanan

Model WMG03A-F yang dihasilkan adalah melalui cerapan GPS di atas tanda aras yang tidak disahkan statusnya. Untuk memperbaiki keputusan ini dan mencapai geoid 1 cm, cadangan di bawah perlulah diberi perhatian:-

- i. Membuat cerapan GPS di atas Tanda Aras Piawai (SBM) yang mempunyai nilai aras jitu.
- ii. Taburan SBM ini hendaklah menyeluruh bagi seluruh Semenanjung dengan sela di antara 30 –50 km.
- iii. SBM yang dipilih hendaklah mengandungi SBM sebagai stesen utama (link stations) dan juga untuk SBM ujian (check stations).
- iv. Rangkaian GPS ini hendaklah disambungkan terus dengan Stesen MASS (Malaysia Active GPS System) bagi meminimumkan selisih di stesen GPS sedia ada.
- v. Jika tanda aras biasa hendak digunakan, pengesahan dengan kaedah ukuran aras jitu perlulah dilakukan mengikut Pekeliling KPUP yang berkaitan.
- vi. Jika melibatkan cerapan yang panjang, perisian pemprosesan hendaklah mampu untuk melakukan pemprosesan data di samping mampu untuk memodelkan troposfera dengan jumlah parameter yang sesuai.
- vii. Penghitungan model kesepadanan hendaklah mengambil faktor-faktor luaran seperti SST dan kejituan rangkaian aras, di dalam membuat analisis.

### 7.2.2 Teknik Cerapan GPS

Teknik pengukuran GPS adalah sinonim untuk penentuan koordinat mendatar, untuk memanipulasikan komponen ketinggian dan mencapai kejituan yang diperlukan, beberapa perkara perlulah diberikan perhatian:-

- i. Arahan yang terdapat di dalam Pekeliling KPUP 6/99 bagi ukuran GPS statik mestilah dipatuhi. Arahan-arahan yang terlibat seperti jenis (frekuensi) peralatan, pengujian (kalibrasi), pemprosesan dan juga pelarasan jaringan hendaklah dipatuhi.
- ii. Cerapan GPS di dalam penentuan ketinggian memerlukan pengukuran ketinggian antena dilakukan dengan betul. Penggunaan *Bipod* yang stabil dengan ketinggian tetap akan dapat mengurangkan selisih ketinggian terutama bagi garis dasar yang pendek.
- iii. Cerapan GPS di atas tanda aras yang biasanya terletak di tepi jalan, akan terbuka kepada gangguan kenderaan di samping tidak mempunyai ketinjahan yang sesuai. Penggunaan *Bipod* dengan ketinggian tetap yang melebihi 2 m akan dapat mengurangkan gangguan ini.

## BIBLIOGRAFI

- Azhari Mohamed (2002):** An Investigation Of The Vertical Control Network Of Peninsular Malaysia Using Terrestrial And GPS Data, Universiti Teknologi Malaysia, Thesis Phd.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (1997):** GPS Theory and Practice 4<sup>th</sup>, Revised Edition, SpringerWienNewYork.
- Fotopoulos G, Kotsakis C, and Sideris M.G (1999):** Evaluation of Geoid Models and Their Use in Combined GPS/Levelling/Geoid Height Network Adjustments, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Alberta, Canada.
- Heiskanen W, and Moritz H. (1966):** Physical Geodesy, W.H Freeman and Company, San Francisco and London.
- Khairul Anuar Abdullah & Abdul Wahid Idris (1994),** Geodesi Geometrik, Monograf Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai.
- Markku Poutanen:** Use of GPS in unification of vertical datums and detection of levelling network error, Finnish Geodetic Institute, Finland.
- Marti U, Schlatter A, Brockmann E, (2002):** Combining Levelling with GPS Measurements and Geoid Information, Federal Office of Topography, Wabern, Switzerland.
- Mohd Hashim Mat Hassan (1997),** Penentuan Ketinggian Orthometrik Menggunakan Kaedah Static dan Rapid Static GPS, Universiti Teknologi Malaysia, Thesis PSM.

**Mhd. Zaki Tawang (1998)**, Penggunaan GPS Untuk Semakan Kawalan Tegak, Universiti Teknologi Malaysia, Thesis PSM.

**Mustafa Din Subari (1996)**: A GPS Surveying Primer, Bengkel Penggunaan Teknologi GPS Dalam Sistem Kadastra Berkoordinat, Universiti Teknologi Malaysia.

**Pikridas C. et. al. (1999)**: Local Geoid Determination Combining GPS, Gravity and Height Data. A Case Study in the Area of Thessaloniki, Tech. Chron. Sci. J. TCG, I, No 3.

**Pikridas C. et. al. (1999)**: Computing Orthometric Heights and Controlling Their Quality by GPS and Local Geoid in Northern Greece. Department of Geodesy and Surveying, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

**R. Forsberg, A. Oleson, L. Bastos, A. Gidskehaug, U. Meyer, and L. Timmen (1999)**: Airborne Geoid Determination, Earth, Planets and Space, Tsukuba, Japan.

**Sverre Wisloff (2002)**: Deriving Orthometric Heights from GPS Measurement Using a Height Reference Surface, FIG XXII International Congress, Washington D. C, USA.

**Tscherning C. C (2002)**: Datum-shift, error-estimation and gross-error detection when using least-squares collocation for geoid determination, International School on the Determination and use of the geoid. Department of Geophysics, University of Copenhagen, Denmark.

**Urs Hugentobler et. al (1999)**: Bernese GPS Processing Software Version 4.2 Manual, Astronomical Institute University of Bern, Switzerland

**Vanicek P, and Krakiwsky E. J (1992)**: Geodesy The Concept Second Edition, Elsevier Science Publishers B. V, The Netherlands.

**LAMPIRAN A-1**

**Senarai Koordinat dan Ketinggian Laut Min  
Projek Cerapan Tanda Aras (Set Data IA & IB)**

Bil.	Stesen	Koordinat GDM2000							Aras Laut Min (Meter)
		Latitud (U)			Longitud (T)			Tinggi El.	
		°	'	"	°	'	"	Meter)	
1.	J 0060	1	45	46.14884	103	24	26.57612	29.976	23.248
2.	J 0087	1	27	20.7848	103	45	38.22884	11.602	3.208
3.	J 0141	1	25	12.8238	104	12	7.43566	30.099	20.163
4.	J 0151	1	50	29.05354	103	57	29.89801	17.727	9.022
5.	J 0184	2	8	7.62445	103	52	22.91912	43.400	35.546
6.	J 0241	2	38	26.94449	102	51	5.07005	29.591	26.283
7.	J 0249	2	31	10.98656	102	48	28.25474	37.551	34.230
8.	J 0260	1	55	34.50047	102	40	21.20757	4.955	1.558
9.	J 0416	1	27	42.50286	103	46	24.08835	11.924	3.428
10.	J 0481	1	22	48.65956	103	26	32.60045	9.710	2.468
11.	J 0484	2	25	15.57225	103	0	41.4714	71.337	67.107
12.	J 0552	1	43	10.29401	103	53	39.27416	11.776	3.246
13.	J 0584	1	58	54.23691	103	52	20.32365	27.008	18.929
14.	J 0617	2	31	56.50766	103	46	55.40333	13.542	6.579
15.	J 0678	1	43	24.02259	103	4	43.56443	7.320	2.025
16.	J 0695	1	34	17.23738	103	20	56.01432	10.289	3.633
17.	J 0700	1	29	20.0227	103	23	18.45208	10.036	2.919
18.	J 0766	2	17	19.07681	102	30	51.59598	13.168	10.910
19.	J 0782	2	38	57.74243	103	37	32.54792	11.201	5.018
20.	J 0831	1	30	19.31798	103	32	47.30865	17.188	9.705
21.	J 1037	2	3	10.91275	103	5	55.55212	16.840	11.879
22.	J 1133	2	2	20.78146	103	20	8.76447	35.980	30.012
23.	J 1199	1	50	53.96918	103	18	4.62779	18.784	12.617
24.	J 1220	2	0	37.95874	103	4	7.75589	17.379	12.862
25.	J 1236	2	13	26.93126	103	2	23.31412	18.226	13.674
26.	J 1249	2	24	41.56003	103	0	51.9423	61.427	57.206
27.	J 1275	2	15	26.15831	103	35	38.98086	17.062	10.694
28.	J 1330	1	53	22.10949	102	46	17.22478	6.367	2.475
29.	J 1377	1	40	40.62242	103	9	42.71645	7.409	1.633
30.	J 1444	1	51	44.46449	103	0	5.06508	22.28	17.446
31.	J 1513	1	51	27.22016	103	6	0.38267	8.202	2.943
32.	J 1609	2	11	17.27268	102	37	7.23613	7.389	4.660
33.	S 0015	1	55	32.3054	103	10	38.53591	13.433	7.894
34.	S 0073	1	50	59.35456	102	55	47.53338	6.354	1.905

Bil.	Stesen	Koordinat GDM2000							Aras Laut Min (Meter)
		Latitud (U)			Longitud (T)			Tinggi El.	
		°	'	"	°	'	"	Meter)	
35.	S 0992	2	16	8.14059	103	51	12.78373	35.336	27.727
36.	B 0055	3	33	16.8139	101	38	34.14842	67.367	70.065
37.	B 0776	2	49	0.50818	101	31	0.43798	0.685	3.078
38.	C 0157	3	34	7.98738	102	44	16.6895	35.452	33.829
39.	C 1576	3	25	6.63873	103	6	3.79125	30.977	27.879
40.	C 0418	2	52	53.0921	103	25	42.55558	9.367	4.335
41.	C 0834	3	45	54.42002	103	15	48.2987	6.585	3.648
42.	C 0845	3	42	22.27493	103	7	0.77009	38.045	35.484
43.	J 0241	2	38	26.94438	102	51	5.06863	29.673	26.283
44.	M 0232	2	11	31.22122	102	15	49.22443	4.971	3.722
45.	N 0823	2	44	39.40662	102	8	59.32583	104.969	104.499
46.	S 0038	2	55	12.58902	102	56	54.26926	28.674	25.531
47.	S 0062	3	26	56.03593	102	25	10.81585	42.324	41.587
48.	S 0103	4	0	59.87184	101	58	1.6389	84.93	86.660
49.	S 0250	2	53	27.43232	102	24	30.51281	62.566	61.040
50.	S 0322	3	45	47.59682	100	59	3.23359	-3.621	2.017
51.	S 0351	3	25	27.71583	101	10	9.64836	-2.796	1.624
52.	S 0371	2	34	14.6703	101	49	49.81257	4.670	5.568



**LAMPIRAN A-2**

**Senarai Koordinat dan Ketinggian Laut Min  
Projek Cerapan Tanda Aras Negeri Johor 2003**

Bil.	Stesen	Koordinat GDM2000							Aras Laut Min (Meter)
		Latitud (U)			Longitud (T)			Tinggi El.	
		°	'	"	°	'	"	Meter)	
1.	J0022	2	18	12.15919	103	2	23.36040	36.833	32.395
2.	J0077	1	35	49.84375	103	38	43.06570	26.151	18.322
3.	J0249	2	31	10.98696	102	48	28.25451	37.518	34.230
4.	J0412	2	16	35.65220	102	48	49.63396	17.787	14.249
5.	J0483	2	24	13.39442	103	1	0.50758	63.227	58.991
6.	J0649	2	1	22.43448	102	35	20.95081	6.394	3.540
7.	J0699	1	30	29.28267	103	22	48.49021	10.457	3.674
8.	J0915	2	20	7.56788	102	38	24.06222	45.582	42.757
9.	J0921	2	24	13.86581	102	40	17.47221	63.582	60.619
10.	J0924	2	27	1.47316	102	41	8.19445	28.869	25.952
11.	J1046	2	9	59.88164	103	10	9.05620	57.263	52.101
12.	J1082	1	30	14.35527	103	45	50.85545	18.220	9.801
13.	J1261	2	29	57.68062	102	49	37.21068	14.696	11.332
14.	J1349	1	33	12.16211	103	33	39.84928	55.953	48.404
15.	J1358	1	30	38.52638	103	29	32.37984	19.599	12.268
16.	J1365	1	45	13.61249	103	1	5.16980	6.832	1.923
17.	J1375	1	41	31.78192	103	7	17.76600	7.386	1.874
18.	J1423	1	21	23.16268	103	27	10.47727	10.264	2.974
19.	J1427	1	29	18.57338	103	25	29.35186	10.408	3.387
20.	J1450	2	32	30.59545	102	42	38.94252	32.268	29.383
21.	J1513	1	51	27.22005	103	6	0.38227	8.268	2.943
22.	J1523	2	33	17.88164	102	45	47.24745	16.550	13.487
23.	J1527	2	29	30.45504	102	49	24.65332	13.944	10.707
24.	J1562	2	22	27.88250	102	41	40.72561	43.765	40.729
25.	J1577	2	14	3.12168	102	45	52.15712	7.175	3.755
26.	J1593	2	12	28.01173	102	38	56.18754	7.383	4.605
27.	J1655	2	3	45.75656	103	7	17.31950	28.569	23.500
28.	J1667	2	11	42.49514	103	13	7.11154	56.920	51.573
29.	J1685	2	6	1.51072	103	18	59.48212	36.086	30.219
30.	J1692	2	2	2.66749	103	19	41.68875	37.788	31.884
31.	J1699	1	59	20.16858	103	19	37.48950	40.942	34.778
32.	J1712	1	53	26.76833	103	23	12.42332	71.539	64.895
33.	J1731	1	52	17.63353	103	9	28.09725	10.230	4.628
34.	J1740	1	48	10.23546	103	6	47.24880	9.466	4.150

Bil.	Stesen	Koordinat GDM2000							Aras Laut Min (Meter)
		Latitud (U)			Longitud (T)			Tinggi El.	
		°	'	"	°	'	"	Meter)	
35.	J1767	1	40	41.07265	103	16	35.04249	9.940	3.752
36.	J1774	2	2	20.85947	103	22	17.93525	55.339	49.351
37.	J1876	1	58	7.37366	102	53	13.52532	6.327	2.224
38.	J2507	2	2	27.26681	102	51	0.99069	23.012	18.948
39.	J2566	2	2	48.57034	102	36	31.60171	6.927	4.018
40.	J2676	1	55	29.68265	103	31	24.13310	71.374	64.513
41.	J3122	1	59	11.31981	103	5	50.90728	19.044	13.931
42.	J3136	1	54	23.76703	103	12	11.08661	18.382	12.658
43.	J3146	1	51	32.82357	103	17	52.03295	20.742	14.663
44.	J3275	1	26	17.57096	103	24	47.41166	10.039	3.004

**LAMPIRAN B-1**

**Senarai Garis Dasar Set Data IA & IB  
Bagi Penentuan Kejituan Relatif**

Bil.	Dari	Ke	Jarak (m)	$\Delta h$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta N_{\text{grav}}$ (m)	$\Delta N_{\text{gps}}$ (m)	$\delta$
1	J0087	J0416	1566.726	0.322	0.220	0.051	0.102	0.051
2	J1037	J1220	5759.235	0.539	0.556	-0.081	-0.017	0.064
3	J1377	J0678	10520.676	-0.089	0.392	-0.442	-0.481	-0.039
4	J1444	J1513	10994.210	-14.078	-14.503	0.432	0.425	-0.007
5	J1513	S0015	11426.639	5.231	4.951	0.249	0.280	0.031
6	J1330	J0260	11730.143	-1.412	-0.917	-0.457	-0.495	-0.038
7	J0481	J0700	13435.771	0.326	0.451	-0.300	-0.125	0.175
8	J0241	J0249	14240.099	7.960	7.947	0.015	0.013	-0.002
9	J0184	S0992	14917.655	-8.064	-7.819	-0.283	-0.245	0.038
10	J1513	J0678	15030.315	-0.882	-0.918	0.023	0.036	0.013
11	J1199	J0060	15124.449	11.192	10.631	0.562	0.561	-0.001
12	J0151	J0552	15245.626	-5.951	-5.776	-0.106	-0.175	-0.069
13	J1199	S0015	16222.274	-5.351	-4.723	-0.617	-0.628	-0.011
14	J0184	J0584	16997.847	-16.392	-16.617	0.250	0.225	-0.025
15	C0834	C0845	17533.797	31.460	31.836	-0.375	-0.376	-0.001
16	J1444	J0678	17617.258	-14.960	-15.421	0.455	0.461	0.006
17	J0700	J0831	17678.364	7.152	6.786	0.608	0.366	-0.242
18	J0481	J0831	18049.188	7.478	7.237	0.308	0.241	-0.067
19	J1330	S0073	18163.029	-0.013	-0.570	0.691	0.557	-0.134
20	J0151	J0584	18229.425	9.281	9.907	-0.537	-0.626	-0.089
21	J1037	J1236	20025.721	1.386	1.795	-0.441	-0.409	0.032
22	J1444	S0015	20790.862	-8.847	-9.552	0.681	0.705	0.024
23	J1377	J1513	21015.731	0.793	1.310	-0.464	-0.517	-0.053
24	J0695	J0831	23169.499	6.899	6.072	0.843	0.827	-0.016
25	J0481	J0695	23570.566	0.579	1.165	-0.535	-0.586	-0.051
26	J0087	J0831	24453.386	5.586	6.497	-0.985	-0.911	0.074
27	J0416	J0831	25703.491	5.264	6.277	-1.036	-1.013	0.023
28	J1377	J1444	27101.953	14.871	15.813	-0.896	-0.942	-0.046
29	J0552	J0584	29096.144	15.232	15.683	-0.431	-0.451	-0.020
30	J0416	J0552	31512.716	-0.148	-0.182	0.075	0.034	-0.041
31	C1576	C0845	31859.589	7.068	7.605	-0.541	-0.537	0.004
32	J0060	J0831	32403.371	-12.788	-13.543	0.775	0.755	-0.020
33	J0241	S0038	32718.089	-0.917	-0.752	-0.245	-0.165	0.080
34	N0823	S0250	33018.076	-42.403	-43.459	1.061	1.056	-0.005

Bil	Dari	Ke	Jarak (m)	$\Delta h$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta N_{\text{grav}}$ (m)	$\Delta N_{\text{gps}}$ (m)	$\delta$
35	J1133	J1275	37525.514	-18.918	-19.318	0.442	0.400	-0.042
36	N0823	S0371	40361.267	-100.299	-98.931	-1.315	-1.368	-0.053
37	S0322	S0351	42743.368	0.825	-0.393	1.109	1.218	0.109
38	C0157	C1576	43636.239	-4.475	-5.950	1.404	1.475	0.071
39	B0776	S0371	44240.756	3.985	2.490	1.435	1.495	0.060
40	C0418	S0038	53545.903	19.307	21.196	-1.935	-1.889	0.046
41	C1576	S0038	57658.903	-2.303	-2.348	0.074	0.045	-0.029
42	S0038	S0250	60115.294	33.892	35.509	-1.651	-1.617	0.034
43	M0232	N0823	62367.884	99.998	100.777	-0.812	-0.779	0.033
44	M0232	S0371	63835.995	-0.301	1.846	-2.126	-2.147	-0.021
45	B0776	N0823	70841.273	104.284	101.421	2.750	2.863	0.113
46	B0055	S0322	76713.447	-70.988	-68.048	-2.767	-2.940	-0.173
47	B0776	S0351	77491.116	-3.481	-1.454	-2.023	-2.027	-0.004
48	J0241	N0823	78850.301	75.378	78.216	-2.956	-2.838	0.118
49	B0055	B0776	82784.815	-66.682	-66.987	0.365	0.305	-0.060